E 2039

MW 1

54

R 1990 -09- 03

E TPE

Cuprins

INTERVIU CU DOMNUL MINISTRU ADRIAN GEORGESCU 1—3

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

MAGDALENA CUCIUREANU, JEAN CONSTANTINESCU, MARIO DUMA, VASILE RUGINĂ, MONICA ROȘCA, CĂLIN GIBESCU: **Concepția și metodele de definire, analiză și evidență unitară a consumurilor energetice aferente tehnologiilor din industrie, transporturi, construcții și agricultură** 4—7

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

DAN TEODOSESCU : **Software modularizat pentru supravegherea proceselor energetice** 8—15

CENTRALE TERMOELECTRICE

MIRCEA RĂDULESCU, TEODOR POPA: **Modernizarea instalației de măcinare și ardere a lignitului la cazanul de 370 t/h din CET Ișalnița** 16—22

CENTRALE HIDROELECTRICE

VALENTIN GEORGIAN, PETRU DAN LAZĂR: **Valorificarea micropotențialului hidroenergetic în contextul crizei energetice mondiale** 23—26

REȚELE ELECTRICE

TRAIAN-G. IONESCU, EUGENIU PAVEL: **Considerații privind normarea limitelor regimului dezechilibrat în sistemele electroenergetice** 27—33

TEHNOLOGII CHIMICE ÎN ENERGETICĂ. POLUARE

NICOLAE NINĂ, MIHAI CHIRICA: **Regenerarea în dublu flux a VIONIT-ului CS_3 aplicată la ape cu salinitate ridicată** 34—37

NOUTĂȚI

INVENȚII-INOVAȚII 38

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 7, 33

IOSIF CSERVENY: **Sinteză privind programul de cercetare și dezvoltare tehnologică în domeniul energiei al Comunității Europene pentru perioada 1989—1992**

CRONICA

GEORGE MANOLESCU, GHEORGHE LUCA: **Sesiunea științifică ISPE-ISPH „Realizări și perspective în proiectarea energetică românească" dedicată celei de-a 40-a aniversări a înființării celor două institute** 41

DE LA COMITETUL NAȚIONAL ROMÂN AL CIGRÉ 42

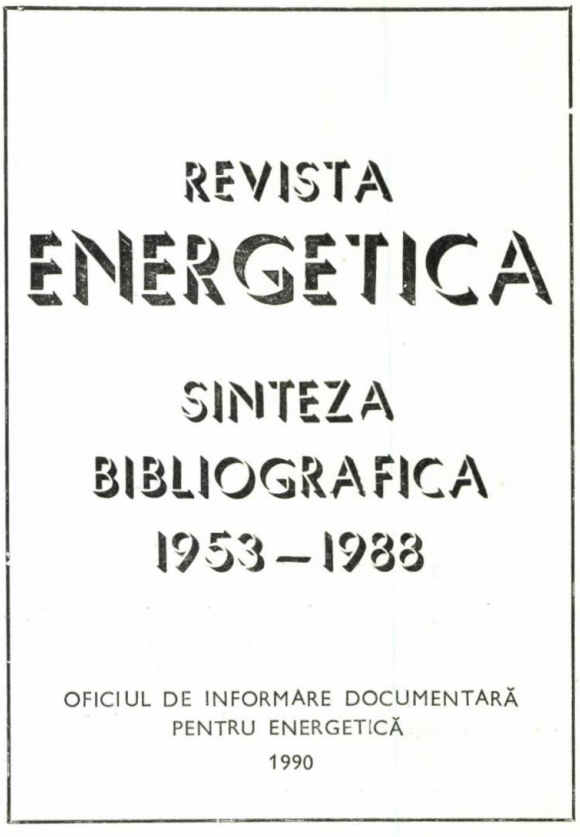
RECENZII 43—44

DE PERSONIS 45

energetica

VOLUMUL XXXVIII
BUCUREȘTI
IANUARIE 1990

Pentru a veni în sprijinul specialiştilor din cercetare, învăţămînt, proiectare, construcţii-montaj şi exploatare, precum şi al studenţilor şi al tuturor celor care doresc să se documenteze şi/sau să se informeze despre preocupările şi realizările energeticii româneşti din ultimii 35 de ani, Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică va elabora şi edita în anul 1990 lucrarea de documentare



REVISTA „ENERGETICA"
SINTEZĂ BIBLIOGRAFICĂ 1953—1988

Lucrarea va cuprinde lista articolelor publicate în revista „Energetica" de la apariţie pînă în prezent, clasificate pe tematici, precum şi un indice alfabetic al autorilor, indexul ţărilor străine legate de tematică, indexul instalaţiilor energetice descrise în revistă etc.

Preţul unui exemplar va fi de circa 100—125 lei.

Pentru stabilirea tirajului rugăm persoanele şi întreprinderile interesate să comunice printr-o scrisoare la Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică, Bucureşti, sectorul III, b-dul Energeticienilor nr. 8, cod 79619, numărul de exemplare solicitate.

1990 SEP 1 21

ENERGETICA

REVISTĂ DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

Anul 38 Nr. 1 Ianuarie 1990

ORSZÁGOS SZÉCHÉNYI KÖNYVTÁR

Interviu cu domnul ministru Adrian Georgescu

Cititorii noştri ştiu că revista Energetica a reuşit în ultimii ani să evite publicarea de articole editoriale ocazionale sau omagiale, păstrîndu-şi o formă şi un conţinut sobre.

Revista Energetica doreşte să contribuie la efortul naţional de redresare a economiei noastre prin exprimarea opiniilor deschise ale specialiştilor, care pot şi trebuie să analizeze situaţia de fapt, să examineze dificultăţile şi să-şi prezinte, liberi de orice presiune administrativă sau de altă natură, propunerile de remediere şi pentru asigurarea viitorului economic al României libere.

Revista nu a publicat pînă acum interviuri, formă de exprimare a opiniilor folosită în special de publicaţiile ziaristice. Facem o excepţie în acest număr, deoarece revoluţia, care a răsturnat structurile politice ale României, a produs şi o mutaţie — care încă nu s-a încheiat — în minţile noastre, în structura ideilor noastre, în concepţiile noastre. Iată de ce am considerat că în noul spirit al libertăţii opiniilor este bine să auzim o părere autorizată a forului de decizie actual.

Domnul ministru Adrian Georgescu este un specialist cunoscut şi recunoscut de energeticienii din ţara noastră şi de peste hotare. Se mai ştie că domnia sa a avut totdeauna opinii ferme împotriva greşelilor evidente făcute prin dispoziţii „de sus" în problemele energeticii româneşti, din care cauză i s-a interzis multă vreme accesul la deciziile referitoare la energetica noastră.

Întrebările puse se adresează atît ministrului energiei electrice, cît şi specialistului Adrian Georgescu.

Domnule ministru, la început de nou drum, Energetica, revista specialiştilor energeticieni din România, consideră că pentru cititorii noştri este util să se cunoască părerile autorizate asupra cîtorva din problemele acute ale energeticii româneşti. De aceea vă rog să răspundeţi la cîteva întrebări.

Care sînt, după părerea dv., problemele principale şi prioritare ale energeticii româneşti în această perioadă dificilă?

Moştenirea primită de la regimul dictatorial răsturnat prin revoluţia din decembrie a anului trecut poate fi calificată ca o fiind extrem de dificilă din punct de vedere economic. Ramura energetică a simţit din plin urmările nefaste ale politicii falimentare. Consider că amînarea începerii programului de construcţie a centralelor nucleare a avut un rol determinant în apariţia situaţiei de criză energetică pe care o trăim în prezent.

Pentru perioada actuală, pe care o putem numi „de tranziţie", se pot scoate în evidenţă ca principale probleme următoarele:

1. Asigurarea cu combustibil a centralelor electrice.

Asigurarea cu combustibil — cărbune și păcură — a fost deficitară în primele 13 zile ale lunii ianuarie, realizîndu-se la cărbune livrări de numai 57% față de consum și la păcură de 90%. Aceasta ne-a obligat să consumăm din stoc cantități însemnate de cărbune, să apelăm la rezervele de stat la păcură și să consumăm apă din lacurile de acumulare peste program. Ce este drept, situația livrărilor de cărbune s-a îmbunătățit începînd cu 10 ianuarie, dar media livrărilor considerate de ministerul minelor ca posibile la nivelul lunii ianuarie și chiar al întregului trimestru I a.c. se situează sub nivelul necesar pentru a ne putea înscrie în balanța producție-consum gîndită inițial de Ministerul Economiei Naționale împreună cu ministerul nostru.

Situația prezentată succint mai sus a dus la necesitatea reducerii cotelor de energie electrică repartizate inițial consumatorilor industriali și la emiterea unei hotăriri a primului ministru, care prevede măsuri severe pentru încadrarea consumatorilor care depășesc cotele de energie alocată.

2. Echilibrarea balanței de energie. Avînd în vedere necesitatea acoperirii consumurilor casnice de energie în scopul asigurării unui minim de trai civilizat al oamenilor din România, chiar din primele zile ale noii vieți, se impune o disciplinare strictă a consumatorilor industriali. Or, această disciplină nu funcționează încă în bune condiții. De exemplu, cu toate intervențiile făcute, unele unități industriale și-au depășit repartițiile de energie în prima jumătate a lunii ianuarie cu cantități importante; așa sînt Întreprinderea de Aluminiu din Slatina, cu o depășire de peste 60%, Combinatul Siderurgic Reșița, cu o depășire de peste 37%, Combinatul Siderurgic de la Hunedoara, cu peste 21%, și multe altele. Depășirea la consumul de energie electrică totalizează la principalele ministere industriale în zilele de 12 și 13 ianuarie, puteri medii zilnice de 619, respectiv 430 MW. Depășiri mult mai mari, de peste 1000 MW, s-au înregistrat la puterea medie consumată pe palierele orare.

În același timp apar depășiri importante la consumul de căldură prin termoficare, localizate în special la combinatele chimice și la unele întreprinderi de sere. La unele dintre acestea depășirea este de peste 163%.

Toți energeticienii din România înțeleg faptul că este o stare excepțională și ca atare sînt necesare măsuri excepționale, atît la producători, cît și la consumatori. Energeticienii trebuie să-și concentreze toate forțele pentru a asigura, pe lîngă buna exploatare, reparațiile și intervențiile prompte și de calitate în cazul avariilor, descărcarea în intervale cît mai scurte a mersrutelor de cărbune și de păcură.

3. Asigurarea disponibilității grupurilor energetice din centralele noastre și a instalațiilor din rețele și stații. În acest scop s-au luat măsuri pentru realizarea întreținerii și reparațiilor capitale și curente și pentru o exploatare judicioasă a instalațiilor. Rămîn în continuare dificultăți privitoare la piesele de schimb și la materiale. Sîntem optimiști pentru viitorul apropiat, pentru că sectorul a fost deja înzestrat cu unități puternice de construcții și montaje, care vor putea ajuta și la activitatea de menținere la normal a instalațiilor energetice existente.

4. Pregătirea perioadei imediat următoare. Se va face prin realizarea programelor de reparații, asigurarea bazei materiale, rezolvarea problemelor personalului de exploatare și de întreținere.

Care sînt măsurile preconizate de dv. în legătură cu posibilitatea redresării marilor centrale pe cărbune Rovinari și Turceni?

Starea tehnică a celor două mari centrale pe cărbune nu este corespunzătoare, iar soluționarea problemelor tehnice depinde, în afară de executarea unor reparații de calitate, bună întreținere și exploatare conștiincioasă, în mare măsură de asigurarea condițiilor locale. Obiectivele principale care trebuie urmărite se referă la organizarea, pregătirea și calificarea personalului. Soluțiile tehnice există și trebuie aplicate din convingere de către muncitorii, tehnicienii, inginerii, în genere de toți specialiștii de la fața locului. Metoda „indicațiilor" și a dădăcirii ca urmare a centralizării excesive, a trimiterii oamenilor „din afară" trebuie eliminată complet. Dar pentru a schimba mentalitatea este necesar să se asigure condiții locale de viață civilizată și o ambianță socială corespunzătoare. Sigur că pentru aceasta va fi necesar timp. Vor trebui efectuate analize asupra stării de fapt și luate de urgență măsuri nu numai de către Ministerul Energiei Electrice, ci și de alte foruri de care depind condițiile de viață locale.

Cum vedeți organizarea viitoare a ramurii energiei electrice, astfel încît să răspundă mai bine cerințelor actuale și de perspectivă ale economiei naționale?

Avînd în vedere necesitatea unei concepții unitare în exploatarea întregului sistem electroenergetic, cu toate elementele sale, prin măsurile luate s-au creat premisele îmbunătățirii activități și organizării ministerului. Astfel, s-au readus sau au fost integrate în Ministerul Energiei Electrice : trusturi de construcții și montaj, unitatea de montaj pentru centrale nucleare, Institutul de Cercetări pentru Reactoare Nucleare de la Pitești etc.

Concepția reunirii activităților electroenergetice într-un sistem unitar este aplicată în multe țări dezvoltate economic. Părerea mea este că viitorul va confirma și în țara noastră această opțiune.

Care este opinia dv. în legătură cu dezvoltarea programului de energetică nucleară în România și care sînt principalele măsuri ce trebuie luate?

Energetica nucleară constituie în prezent unica soluție pentru dezvoltarea energeticii românești. Bineînțeles, este necesar ca măsurile de protecție a mediului și de siguranță a instalațiilor să fie aduse la gradul cel mai înalt de asigurare. În acest sens se fac toate eforturile pentru reconsiderarea pe baze reale a programului de investiții pentru centralele nucleare, dar și pentru urgentarea construirii acestora, pentru a putea realiza în viitor acoperirea tuturor cerințelor de energie electrică ale economiei naționale.

Subliniez necesitatea organizării corespunzătoare în ministerul nostru a activităților nucleare, aceasta fiind o prioritate a momentului.

Cum vedeți rolul revistei Energetica în contextul efortului energeticienilor pentru aducerea țării noastre la un nivel de civilizație acceptabil, în cel mai scurt timp?

Revista Energetica trebuie să-și deschidă larg paginile tuturor opiniilor libere ale specialiștilor cu calificare ridicată, din exploatare, din cercetare, din proiectare, din învățămînt etc., astfel încît prin idei și soluții noi să ofere Ministerului Energiei Electrice, unităților sale și altor foruri din statul nostru, substanțiale contribuții la readucerea energeticii românești la un nivel competitiv cu nivelul energeticii din țările dezvoltate, așa cum a fost în trecutul mai îndepărtat al țării noastre. Opiniile specialiștilor vor folosi la fundamentarea și consolidarea deciziilor, care în acest fel vor avea șanse mai mari să fie optimale. Ministerul Energiei Electrice va susține revista în continuare, asigurîndu-i libertate deplină în exprimarea opiniilor.

Vă urez succes !

Domnule ministru, vă mulțumesc în numele revistei pentru că ne-ați acordat, în această perioadă grea, timpul necesar acestui interviu.

Din partea colegiului de redacție, interviul a fost luat de redactorul șef EUGENIU PAVEL

16 ianuarie 1990

Concepţia şi metodele de definire, analiză şi evidenţă unitară a consumurilor energetice aferente tehnologiilor din industrie, transporturi, construcţii şi agricultură

Mat. MAGDALENA CUCIUREANU, dr. ing. JEAN CONSTANTINESCU,
dr. ing. MARIO DUMA, ing. VASILE RUGINĂ,
mat. MONICA ROŞCA, ing. CĂLIN GIBESCU *

Descriptori: tehnologie, consum specific energetic

Lucrarea are ca scop crearea unui instrument de analiză a consumurilor de energie pentru fundamentarea priorităţilor tehnico-ştiinţifice în cadrul programelor de modernizare a instalaţiilor tehnologice, precum şi a normelor de consum planificate.

Sistemul creat este centrat pe tehnologie şi cuprinde date referitoare la natura, nivelul, gradul de noutate al tehnologiei, fazele tehnologice şi consumurile de energie asociate, caracteristicile echipamentelor de bază aferente, natura, structura şi caracteristicile fizico-chimice ale purtătorilor de energie şi ale principalelor materii prime folosite, caracteristicile de bază ale principalelor produse rezultate, relaţiile de dependenţă a consumului energetic de factorii tehnologici determinanţi, descrierea succintă a soluţiilor de reducere a consumurilor, economiile de energie corespunzătoare, date privind consumurile specifice de energie obţinute pe plan mondial pentru tehnologii similare.

Dat fiind volumul şi complexitatea datelor şi informaţiilor referitoare la aspectele tehnice şi descriptive ale tehnologiilor tratate, sînt utilizate tehnicile specializate de gestiune a bazelor de date, pentru calculul, organizarea, stocarea şi regăsirea datelor.

The paper is intended to create an energy consumptions analysis instrument meant to support technical scientific priorities within technological modernizing programmes as well as planned consumption norms.

The elaborated system is based on technology and consists of data referring to nature, level, advance degree of the technology, technology phases and associated energy consumptions, afferent basic equipment characteristics, nature, structure and physical and chemical characteristics of energy carriers and of main products resulted, energy consumption dependence relations on determined technological factors, short description of consumption decrease solutions, corresponding energy savings, data regarding worldwide specific energy consumptions for similar technologies.

Given the volume and complexity of data and information referring to technical and descriptive aspects of described technologies, specialized data bases administration techniques for the calculation, organizing, storage and refinding of data are utilized.

Introducere

Reducerea consumurilor energetice implică, pe lîngă complexul de măsuri tehnice şi organizatorice avînd drept scop modernizarea şi înnoirea tehnologiilor, şi perfecţionarea sistemului de analiză, normare, urmărire şi evidenţă a consumurilor.

În acest sens, s-a iniţiat efectuarea unei lucrări privind realizarea unui sistem pentru evidenţa şi analiza consumurilor energetice aferente tehnologiilor industriale.

Sistemul creat cuprinde elementele tehnologice sau de altă natură care determină sau pot influenţa consumul specific de energie. Obiectivul principal al lucrării constă în crearea unui instrument de evidenţă şi analiză unitară a consumurilor energetice aferente tehnologiilor utilizate la nivel naţional, în activităţile economice din industrie, transporturi, agricultură şi gospodărie comunală. Lucrarea constituie prima analiză a consumurilor energetice pe tehnologii efectuată la nivelul economiei pe o bază unitară, reglementările în vigoare prevăzînd doar obligativitatea bilanţurilor energetice pe utilaje tehnologice. Ea nu urmăreşte însă să se substituie bilanţurilor energetice, ci, bazîndu-se pe acestea, să valorifice pe deplin informaţiile oferite în scopul menţionat.

La realizarea lucrării sînt angrenate institute de cercetare, proiectare şi inginerie tehnologică din toate ramurile economiei, rolul de coordonator şi elaborator principal fiind atribuit Institutului de Cercetări şi Modernizări Energetice.

În continuare, vor fi prezentate concepţia de organizare, principiile de bază şi cadrul metodologic elaborate pentru realizarea sistemului de

* Mat. Magdalena Cuciureanu, dr. ing. Jean Constantinescu, dr. ing. Mario Duma, ing. Vasile Rugină, mat. Monika Roşca, ing. Călin Gibescu — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti.

evidență și analiză a consumurilor energetice aferente tehnologiilor industriale.

1. Concepția de organizare a sistemului

Sistemul de evidență și analiză a consumurilor energetice este centrat pe tehnologie, definită ca ansamblu al proceselor tehnologice ce se desfășoară cu consum de energie pentru realizarea unui anumit produs sau a unei anumite prestații. Sistemul cuprinde, printre altele, date referitoare la natura, nivelul, gradul de noutate al tehnologiei, fazele tehnologice și consumurile de energie asociate, caracteristicile echipamentelor de bază aferente, natura, structura și caracteristicile fizico-chimice ale purtătorilor de energie și ale principalelor materii prime folosite, ponderea tehnologiei în volumul total al producției, caracteristicile de bază ale principalelor produse rezultate, relațiile de dependență a consumului energetic de factorii tehnologici determinați, condițiile restrictive de aplicare a tehnologiei, descrierea soluțiilor de reducere a consumurilor, economiile de energie corespunzătoare, indicii de eficiență tehnico-economică obținuți și/sau preconizați, date privind consumurile specifice de energie obținute pe plan mondial pentru tehnologii similare.

Dat fiind volumul și complexitatea datelor și informațiilor referitoare la aspectele tehnice și descriptive ale tehnologiilor tratate, sînt utilizate tehnicile specializate de gestiune a bazelor de date pentru calculul, organizarea, stocarea și regăsirea datelor. In acest scop, se constituie o bază de date proiectată, organizată și gestionată de ICEMENERG, care să asigure accesul ierarhizat la informații pentru diverși utilizatori din economie.

Descrierea tehnologiilor în baza de date a sistemului este făcută în mod unitar pentru ramurile participante la sistem.

Rapoartele de ieșire ale sistemului vor putea fi organizate la cerere, funcție de unul sau mai multe criterii :

— natura tehnologiei (de exemplu : elaborarea amoniacului), sau a unor faze tehnologice (de exemplu : uscare, distilare, calcinare etc.) ;

— nivelul tehnologiei (de exemplu : mondial sub nivel mondial) ;

— gradul de noutate al tehnologiei (nou creată, modernizată, existentă) ;

— felul purtătorului de energie și altele.

În esență, oricare dintre caracteristicile semnificative ale tehnologiilor cuprinse în sistem pot fi criterii de selecție în obținerea de rapoarte de ieșire.

2. Principii metodologice de bază

Avînd în vedere volumul foarte mare de informații care urmează a fi prelucrate automat, informații provenite din numeroase surse, s-a pus accent pe stabilirea unor orientări unitare privind modul de organizare a evidenței consumurilor energetice pe ansamblul economiei.

Astfel, valorile consumurilor specifice de energie pentru fiecare tehnologie în parte sînt determinate pe baza analizei de detaliu a fazelor tehnologice și operațiilor componente, a caracteristicilor tehnice ale utilajelor importante, a consumului de energie ce se înregistrează pe fiecare fază, respectiv operație.

Includerea în analiză a tehnologiilor specifice din cadrul ramurilor economice are la bază criterii tehnice și economice, cu precădere legate de importanța lor în balanța energetică. În acest sens, institutele de ramură desemnate au întocmit inventarul tehnologiilor cu pondere semnificativă în consumul total al ramurii/subramurii de care răspund. Se are în vedere analiza energetică a unui număr de circa 1000 tehnologii, care să acopere 80—90% din consumul total al ramurilor/subramurilor. Pentru fiecare din ele se vor stoca date realizate și prognozate pe o perioadă de circa 10 ani.

În prezent există, la diverse niveluri (organe de sinteză), liste de produse pentru care se normează consumurile specifice de energie și se urmăresc valorile respective realizate. Desigur, între aceste liste și inventarul de tehnologii elaborat în cadrul lucrării există o anumită legătură. De exemplu, pentru fabricarea cimentului se utilizează patru tehnologii distincte, funcție de natura procedeului folosit și capacitatea echipamentului principal : procedeul umed — cuptoare de 300 t/zi ; procedeul umed — cuptoare de 800 t/zi ; procedeul uscat — cuptoare 800 t/zi ; procedeul uscat — cuptoare de 3000 t/zi.

Situația se complică pentru produse complexe, eterogene, care se produc într-o gamă largă de tipodimensiuni (astfel de cazuri sînt specifice industriei constructoare de mașini, ușoare, alimentare etc.), cînd o corespondență directă între nomenclatorul de produse și cel de tehnologii duce la un număr extrem de mare de tehnologii, practic imposibil de analizat. În această situație s-a mers pînă la limita superioară, la care producția realizată poate fi considerată omogenă, consumurile energetice pot fi urmărite, iar factorii ce influențează aceste consumuri pot fi cuantificați. De exemplu, pentru analiza tehnologiilor de așchiere institutul de profil a stabilit 17 domenii ilustrative sub aspectul consumului de energie și din fiecare domeniu a ales produse reprezentative. S-a definit ca „tehnologie de așchiere", tehnologia de execuție a tuturor pieselor așchiate care sînt incluse în aceste produse reprezentative, iar consumurile energetice pentru așchiere se dau în „kWh/produs reprezentativ".

Analiza tehnologiilor din ramurile economice, sub aspectul parametrilor tehnici rele-

vanți pentru consumurile energetice, se face în cadrul unui contur tehnologic și energetic bine definit. Pentru aceasta :

— se examinează în amănunt procesul de producție asociat tehnologiei analizate în vederea stabilirii conturului tehnologiei ;

— se întocmește pe această bază schema fluxului tehnologic cu evidențierea fazelor acestuia și, de la caz la caz, cu detalierea pe operații a acestor faze ;

— se determină, pe bază de bilanțuri energetice reale și de proiect, datele de consumuri asociate tehnologiilor, fazelor, operațiilor.

Măsurarea și prelucrarea datelor privind valorile proiectate și realizate ale consumului specific se fac pornind de la una din unitățile economice avînd funcționarea cît mai apropiată de datele de proiect. Pentru alte unități economice în care se utilizează aceeași tehnologie și în care se obțin consumuri diferite, aceste valori urmează să se obțină pe bază de calcul, cu utilizarea unor factori de influență; stabilirea factorilor de influență se va face pentru fiecare tehnologie analizată.

Factorii de influență asupra consumurilor specifice de energie constituie una dintre problemele cheie ale lucrării ; ei s-au grupat în următoarele categorii :

a) Abaterile de la structura proiectată și de la normele de calitate ale caracteristicilor materiei prime, materialelor și purtătorilor de energie folosiți. De exemplu, pentru tehnologia de fabricare a celulozei, creșterea cu un procent a consistenței pastei atrage după sine scăderea cu aproximativ 15% a consumului de abur necesar încălzirii pastei la temperatura de lucru, iar la tehnologia de fabricație lapte praf smîntînit o creștere cu un grad a acidității materiei prime reduce consumul specific de energie cu 55000 kcal/t.

În cazul tehnologiei de tratamente termice, micșorarea cu 10V a tensiunii de alimentare a cuptorului electric duce la o creștere a consumului specific de energie electrică cu 19%.

b) Dereglările care se manifestă în continuitatea procesului tehnologic. Astfel, la fabricarea detergenților neritmicitatea în aprovizionarea cu materii prime de bază determină creșterea consumurilor specifice de combustibil, abur și energie electrică cu pînă la 20%, datorită pornirilor și opririlor suplimentare. În cazul tehnologiei de sinteză a alcoolilor oxo prin hidroformilare la presiune ridicată, pentru fiecare oprire de peste 10 ore care impune răcirea cuptorului se consumă pentru aducerea în regim a instalației :

— energie electrică : 4000 kWh ;
— gaze naturale — materie primă : 6000 m³* ;
— combustibil: 34 000 m³* ;
— abur : 320 t.

* m³ în condiții de presiune și temperatură normale.

c) Structura calitativă sau sorto-tipodimensională a produselor realizate ; dimensiunile seriei de fabricație. Un exemplu semnificativ îl poate constitui tehnologia de realizare a sticlăriei de menaj, unde calitatea produsului și creșterea ponderii producției de export influențează în mod direct consumurile energetice.

d) Costul energetic al măsurilor de valorificare a RER. De exemplu, pentru tehnologia de realizare a plăcilor din faianță, prin utilizarea aerului de răcire și a gazelor arse de la cuptoare și atomizoare, se obține o economie de combustibil de 30%, față de care consumul instalației de recuperare este neglijabil.

e) Factorii naturali. La extracția lignitului în cariere cu excavatoare cu rotor, creșterea lungimilor de transport, a pantelor de vehiculare, variația rezistenței rocilor, depășirea nivelului hidrostatic, creșterea raportului de decopertă și variația condițiilor atmosferice influențează, în plus sau în minus, consumurile specifice energetice cu 10—30%.

În stabilirea principalelor categorii de factori de influență s-au luat în considerare doar factorii obiectivi, legați în mod direct de procesul tehnologic analizat. Nu pot fi avute în vedere cantitățile suplimentare de resurse energetice care se consumă datorită funcționării defectuoase a utilajelor sau datorită rebuturilor înregistrate peste cele admisibile, stabilite conform normelor.

Dependența consumurilor specifice energetice de factorii de influență enumerați este exprimată prin relații liniare, tabele de valori sau grafice.

Tehnologiile de realizare a produselor și prestațiilor energo-intensive, cu participare majoră în balanța energetică, din industria energiei electrice, metalurgie, chimie și industria materialelor de construcții, urmează a fi tratate separat (ca tehnologii distincte) pentru fiecare unitate sau grup de unități similare, fără a se recurge la factorii de influență pentru particularizarea consumurilor pe unități economice.

În ceea ce privește analiza comparativă din punctul de vedere al consumurilor energetice a tehnologiilor utilizate în țara noastră față de cele similare din străinătate, aceasta se va face cu precizarea condițiilor specifice în care sînt definite.

3. Aspecte privind colectarea datelor

Pentru descrierea unitară a tuturor tehnologiilor utilizate în ramurile economice, toți participanții la sistem utilizează formularele elaborate de ICEMENERG și îmbunătățite succesiv pe baza observațiilor și propunerilor institutelor colaboratoare, în mai multe runde de precizări.

Ansamblul datelor ce caracterizează tehnologiile și consumurile energetice respective sînt sistematizate în cinci tipuri de fișe :

A. Descriere tehnologică

A1. Descrierea procesului tehnologic și delimitarea conturului tehnologiei

B. Consumuri specifice energetice

B1. Factori de influență asupra consumurilor specifice energetice

B2. Consumurile energetice specifice aferente tehnologiilor similare din străinătate

Setul de 5 formulare se completează pentru fiecare dintre tehnologiile cuprinse în nomenclatorul de tehnologii de către institutul colaborator, responsabil în cadrul ramurii.

Esența lucrării este reprezentată de datele cuprinse în fișa B privind valorile utile, de proiect, realizate, normate și prefigurate ale consumurilor specifice pentru purtătorii de energie intrați în conturul fiecărei tehnologii analizate. În acest sens, trebuie să se realizeze o corelație directă între valorile de consum, soluțiile de modernizare prevăzute, caracteristicile tehnice ale echipamentelor de bază aferente fazelor/operațiilor proceselor tehnologice respective și factorii ce influențează consumurile energetice.

4. Rezultatele sistemului

În final, lucrarea va pune la dispoziția organelor de sinteză și decizie, centralelor industriale, institutelor de profil și întreprinderilor, date și informații referitoare la valorile consumurilor specifice de energie pentru totalitatea tehnologiilor din țară cu pondere semnificativă în consumul de energie, factorii care determină variația acestor valori, precum și căile de reducere a valorilor respective.

Sistemul va permite, pe baza datelor înmagazinate :

— fundamentarea normelor energetice de consum pe baza unor analize tehnice de detaliu a tehnologiilor respective ;
— fundamentarea programelor de modernizare a tehnologiilor în vederea creșterii eficienței lor economice și reducerii consumurilor energetice ;
— extinderea aplicării în mai multe ramuri economice sau la tehnologii diferite a unor soluții de conservare a energiei care s-au dovedit eficiente la nivelul fazelor tehnologice (uscări, concentrări, distilări etc.) ;
— evaluări ale nivelului tehnic și energetic pentru procesele tehnologice analizate ;
— identificarea acelor faze sau operații din cadrul unei anumite tehnologii care se desfășoară cu consumuri energetice excesive, determinînd consumuri specifice ridicate pe ansamblul tehnologiei ;
— cunoașterea calitativă și cantitativă a influenței factorilor endogeni și exogeni asupra consumurilor de energie și întreprinderea acțiunilor necesare în acest sens asupra reducerii influenței nefavorabile a acestora ;
— stabilirea cantităților specifice de combustibili și energie consumate în procesele tehnologice analizate.

De asemenea, datele și informațiile ce vor fi acumulate vor fi utile în activitățile curente de analiză, cercetare-proiectare, la nivelul specialiștilor din institute, din organe centrale, din centrale industriale.

* * *

Autorii exprimă mulțumiri colaboratorilor din diferite institute de specialitate din ale căror lucrări au fost extrase exemplele citate în prezentul articol.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 10 august 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A UNITĂȚILOR INDUSTRIALE ÎN FRANȚA

Sub titlul „La maîtrise de l'energie. Objectifs: competitivité et qualité", Rion Sylvie publică în „Industrie textile" (Franța) 1988, nr. 1188, un articol în care se arată unele rezultate obținute de Agenția Franceză pentru Utilizarea Energiei în urma cercetărilor acestei organizații în scopul reducerii consumului energetic al diverselor subramuri ale industriei. S-a ajuns, astfel ca, pe bază de analize sistematice, să se reducă cu 10 % și chiar cu 50 % consumul de combustibili și de energie al unor unități productive. Cu toate că prețurile la combustibili au scăzut, investițiile în perfecționarea și modernizarea alimentării cu energie a unităților industriale se recuperează din beneficii suplimentare într-o durată care nu depășește, de regulă, cinci ani.

Mai mult, perfecționarea sistemului de alimentare energetică are deseori efecte pozitive asupra calității producției și a condițiilor de muncă a personalului.

În articol se analizează unele cazuri concrete din industria textilă, unde ponderea energiei în costurile totale de producție este de circa 15 %. Astfel, sînt descrise variante de încălzire directă cu gaze, de utilizare a diferitelor sisteme de ardere, cu energie de radiație, (infraroșu, ultraviolet, diapazon microunde, de înaltă frecvență), precum și a diferitelor forme de recuperare a căldurii (pompe de căldură, recompresarea aburului ș.a.).

În articol sînt descrise serviciile pe care le oferă Agenția Franză pentru Utilizarea Energiei întreprinderilor industriale: studii preliminare de analiză a situației energetice, proiecte, lucrări de montaj și reglaj, asistența tehnică de exploatare, finanțare etc.

(După : Referativnii jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 9/1988, poz. 9 S 104)

Software modularizat pentru supravegherea proceselor energetice

Ing. DAN TEODOSESCU *

Descriptori: software, echipament cu microprocesor, supraveghere, modularizare, ierarhizare, nucleu de timp real, driver, proces, bază de date, mediu de dezvoltare

O modalitate importantă pentru a reduce durata dezvoltării programelor unei aplicaţii de proces, rezultînd totodată un sistem fiabil şi robust, o reprezintă crearea unui software modular, organizat pe niveluri logice, cu un grad înalt de generalitate şi uşor de configurat pe aplicaţii concrete. Modularizarea şi ierarhizarea programelor pentru aplicaţiile din energetică sînt ilustrate prin conceptul de „structură standardizată pentru software de proces". În cadrul lucrării se prezintă niveluri ierarhice care definesc acest concept, principiile organizării bazei de date, caracteristicile nucleului de timp real folosit, precum şi structura software a unei aplicaţii tipice de supraveghere. Sînt descrise, de asemenea, etapele ce trebuie parcurse pentru realizarea configurării aplicaţiei. În final, este prezentat succint mediul de dezvoltare al programelor, adaptat cerinţelor aplicaţiilor de supraveghere.

The realization of a module-structured software, organized on logical levels, with a high degree of generalization and easy to configurate on specific applications is an important means of reducing the development time of the programmes of a process application. It also leads to the realization of a reliable and strong system. The module structure and the organization of the programmes used for applications in energetics by levels are illustrated by the concept of "Standard Structure for Process Software". The levels which define this concept, the principles of organization of the database, the characteristics of the real time nucleus used, and the software structure of a typical monitoring applicàtion are presented. The steps necessary for the configuration of the applications are also described. Finally, there is a brief presentation of the environment of development of the programmes according to the requirements of monitoring applications.

Programarea echipamentelor de proces utilizate în energetică capătă o anvergură din ce în ce mai mare, necesitînd un efort deosebit şi o concentrare importantă de personal calificat, cu atît mai mult cu cît nevoia implementării unor astfel de sisteme informatice este în continuă creştere.

Pentru a face faţă acestei situaţii, în condiţiile în care se dispune de un număr mic de programatori, s-au făcut eforturi pentru realizarea unui software modular, organizat pe niveluri logice, cu un grad înalt de generalitate, uşor de configurat pe aplicaţii concrete. De aici au rezultat avantaje, precum :

— sistem de programe fiabil şi robust;
— structură clară şi uşor de depanat;
— favorizarea proiectării sistemului de programe de sus în jos, de la ansamblu spre detaliu (top-down) şi a implementării de jos în sus (bottom-up);
— grad înalt de portabilitate;
— reducerea semnificativă a duratei dezvoltării programelor unei aplicaţii, prin refolosirea modulelor generale şi scrierea doar a modulelor specifice;
— facilitarea lucrului în echipă de programatori.

Activitatea de modularizare are ca rezultat crearea unei biblioteci de module software, cu funcţii bine precizate, dar cu grad înalt de generalitate. Această colecţie de programe poate fi oricînd completată cu noi module, pe măsură ce acestea sînt elaborate. Module noi pot apărea odată cu evidenţierea necesităţii unor noi funcţii ce se doresc implementate prin software, extinderea gradului de generalizare a celor existente, apariţia de noi echipamente de proces, elaborarea unor structuri speciale de sisteme de supraveghere şi conducere etc.

1. Structură standardizată pentru software de proces

Modularizarea şi ierarhizarea programelor de proces sînt ilustrate prin conceptul de „structură standardizată pentru software de proces" (fig. 1), caracterizat prin :

— organizarea pe niveluri ierarhice a modulelor software care alcătuiesc aplicaţia;
— aplicarea principiilor programării în timp real, avînd ca suport nucleul IQMTX, realizat la ICEMENERG;
— adoptarea unui standard de organizare a zonelor de date care formează baza de date a aplicaţiei.

Structura propusă reprezintă o variantă maximală (dar nu exhaustivă) a unui sistem de program pentru o aplicaţie ipotetică. În cazul real se vor selecta numai nivelurile necesare, fiecare cu un conţinut de module în conformitate cu specificul aplicaţiei. Conceptul se poate aplica atît pentru programarea microcal-

* Ing. Dan Teodosescu — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti

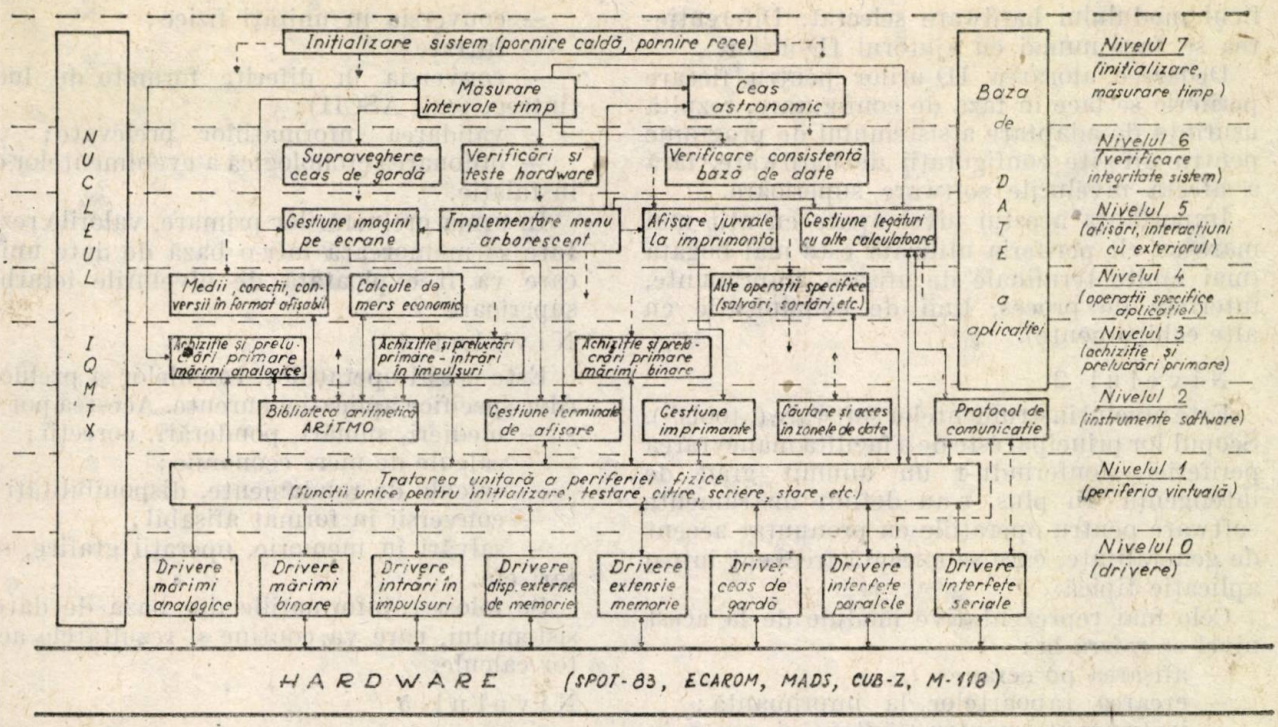


Fig. 1. Structura standardizată pentru software de proces.

culatoarelor, cît și a minicalculatoarelor, în al doilea caz o parte din niveluri fiind implementate chiar de sistemul de operare, care conține și nucleul de timp real propriu.

1.1. Structurarea pe niveluri

În continuare se face o prezentare pe niveluri a conceptului de „structură standardizată pentru software de proces", vizînd în mod special varianta de implementare pentru echipamentele realizate cu microprocesoare.

Nivelul 0

Ierarhizarea software-ului impune, în orice caz, existența unui nivel de „drivere" pentru toate facilitățile hardware ale sistemului (interfețe analogice, binare, linii seriale etc.). Acest nivel este completat de partea din nucleul de timp real (IQMTX), care se ocupă cu tratarea întreruperilor și a ceasului sistem.

Un driver este un modul de program care implementează accesul la o interfață a echipamentului, furnizînd către nivelul superior un standard de interfațare simplu, care „ascunde" detaliile hardware-ului folosit.

Driverele standardizate se referă la:
— interfețele pentru intrări analogice;
— interfețele pentru intrări binare;
— interfețele pentru intrări în impulsuri;
— extensia de memorie;
— dispozitivele de memorie externă (disc flexibil etc.);
— ceasul de gardă;
— interfețele de comunicație serială;
— interfețele pentru dispozitive paralele.

Fiecare driver este însoțit de o rutină de inițializare (specifică hardware-ului la care se referă), apelată o singură dată la pornirea sistemului, precum și de o rutină de testare, apelată ori de cîte ori se dorește verificarea integrității modulului respectiv.

Rolul principal al nivelului 0 este de a realiza decuplarea nivelurilor superioare de particularitățile hardware ale echipamentului folosit. Migrarea programelor de la un echipament la altul se face prin simpla înlocuire a acestui nivel.

În momentul de față, biblioteca de module software creată la ICEMENERG conține versiuni ale nivelului 0 pentru majoritatea echipamentelor de proces și de dezvoltare folosite frecvent în informatica industrială (SPOT-83 MADS, M118, CUB-Z).

Nivelul 1

Implementează conceptul de „periferie virtuală". În acest sens, fiecare dispozitiv, interfață fizică, primește un nume logic, denumit „ID" (identificator). Nivelurile superioare vor accesa periferia numai prin intermediul acestor ID-uri, care sînt numere naturale începînd cu zero. De pildă, pentru accesul la imprimantă se folosește ID-ul 12, pentru scrierea pe consolă ID-ul 2 etc. Tratarea periferiei se face într-o manieră unificată, globală, existînd instrumente unice de acces, indiferent de speci-

ficul modulului hardware selectat. Diferențierea se face numai cu ajutorul ID-urilor.

Deoarece alocarea ID-urilor pentru fiecare periferic se face în faza de configurare, rezultă ușurința de adaptare a sistemului de programe pentru diferite configurații de hardware, fără a afecta nivelurile software superioare.

Importanța acestui nivel apare cu atît mai mare cu cît periferia utilizată este mai bogată (mai multe terminale de afișare, imprimante, interfețe de proces, linii de comunicație cu alte echipamente).

Nivelul 2

Este nivelul instrumentelor software („tools"). Scopul lor principal este de a facilita manevrarea periferiei, conferindu-i un anumit grad de inteligență. În plus, s-au definit instrumente software pentru operațiile cu pronunțat accent de generalitate, care se execută frecvent într-o aplicație tipică.

Cele mai reprezentative module de la acest nivel se referă la :

— afișarea pe ecrane ;
— crearea rapoartelor la imprimantă ;
— instrumente pentru căutare și acces în zonele de date (în special de tip listă) ;
— implementarea operațiilor aritmetice de bază ;
— facilitarea comunicației de date cu alte echipamente.

Dintre acestea se remarcă modulul de gestiune a imprimantei, care este un interpretor al unui limbaj proiectat special pentru editarea jurnalelor, rapoartelor, în general pentru afișări pe imprimantă.

Pentru gestiunea terminalelor de afișare se pot folosi, după caz, interpretoare specializate pentru afișarea imaginilor grafice, schemelor sinoptice etc.

La nivelul comunicației între echipamentele sistemului este implementat un protocol specializat pentru transferul datelor, de tip full-duplex, fiind un subset al protocolului DDCMP (firma DEC). Rolul acestuia este de a crea o cale de comunicație virtuală fără erori, simultan bidirecțională, între două echipamente. Pentru a răspunde necesităților de viteză, protocolul de comunicație poate avea acces direct la nivelul de drivere.

Operațiile aritmetice (în întreg sau în virgulă flotantă) sînt realizate în modulul bibliotecă aritmetică (se folosește biblioteca ARITMO, pe 4 octeți, elaborată la ICEMENERG). Sînt prezente și proceduri de conversie între diferite formate (real, întreg, ASCII).

Nivelul 3

La acest nivel se fac achiziția și prelucrările primare asupra mărimilor procesului supravegheat. Prelucrările se referă la :

— verificarea încadrării în limitele tehnologice de bună funcționare ;
— conversia în unități fizice ;
— filtrare ;
— conversia în diferite formate de lucru (întreg, real, ASCII) ;
— validarea informațiilor prelevate ;
— ordonarea cronologică a evenimentelor din instalație.

În urma prelucrărilor primare, valorile rezultate se memorează într-o bază de date unică, care va fi exploatată de nivelurile ierarhice superioare.

Nivelul 4

Este cel al operațiilor, calculelor și prelucrărilor specifice aplicației curente. Acestea pot fi :

— medieri, sumări, ponderări, corecții ;
— calcule de mers economic ;
— calcule de randamente, disponibilități ;
— conversii în format afișabil ;
— salvări în memorie, operații grafice, sortări etc.

Se folosesc informațiile din baza de date a sistemului, care va conține și rezultatele acestor calcule.

Nivelul 5

Implementează funcția de schimb de informații cu exteriorul. Aceasta cuprinde dialogul cu operatorul (afișări pe ecrane, rapoarte la imprimantă, tratarea comenzilor operatorului), precum și comunicația de date cu alte echipamente din cadrul sistemului.

Dialogul cu operatorul se desfășoară urmărind un menu realizat în format arborescent. La fiecare nod de pe parcurs (neterminal) este disponibil un set de comenzi care determină deplasarea prin arbore. La nodurile terminale sînt apelate rutine specifice care implementează funcția solicitată. Fiecare nod al menu-ului este caracterizat de un text (opțional), care va fi afișat automat pe ecran în momentul atingerii acelui nod. Arborele este realizat sub forma unor zone de date legate între ele prin pointeri. În cazul unui sistem cu mai multe dispozitive de dialog cu operatorul pot exista mai multe menu-uri diferite. Tot aici există modulul de gestiune a imaginilor de display-uri, cu rolul de a asigura împrospătarea automată a valorilor afișate, la perioade de timp fixate și în funcție de tipul imaginii aflate la un moment dat pe ecran. Este implementată și partea de semnalizare clipitoare a anumitor situații deosebite (interfață defectă, traductor defect, depășire a limitelor de alarmare), cu posibilitate de confirmare din partea operatorului.

De asemenea, la acest nivel se află modulul care comandă generarea jurnalelor de imprimantă, precum și cel care realizează gestiunea legăturii cu alte echipamente (apelînd protocolul de comunicație).

Nivelul 6

Este responsabil cu verificarea funcționării corecte a întregului sistem, atît hardware,

cît și software, precum și cu luarea deciziilor adecvate în cazul depistării unei erori. Pentru realizarea acestor funcțiuni se pot utiliza și serviciile ceasului de gardă, a cărei supraveghere este prevăzută la acest nivel.

Verificările asupra hardware-ului se fac utilizînd funcțiile de testare puse la dispoziție de driverele asociate fiecărei interfețe fizice (nivelul 0).

Controlul integrității și consistenței zonelor de date cuprinde :

— verificarea bazei de date a aplicației (realizată de un modul specializat) ;

— verificarea zonelor de date aferente nucleului IQMTX (funcție intrinsecă a acestuia).

Toate aceste operații se pot executa periodic, la cerere, sau în orice moment liber. Situațiile defectuoase și erorile depistate sînt tratate într-un punct unic, accesibil utilizatorului programator. Fiecare tip de eroare este identificat printr-un cod propriu, folosit la momentul tratării. În funcție de proveniența și de gravitatea erorii, tratarea poate duce la reinițializarea sistemului (pentru erori fatale), semnalizarea ei către operator (pentru erori mai puțin grave sau care nu se pot rezolva prin reset software) sau ignorare (în cazul erorilor ușoare, nepericuloase).

Colectarea erorilor într-un punct unic oferă multe avantaje, printre care :

— control riguros, în orice moment, asupra funcționării sistemului ;

— posibilitatea înregistrării erorilor și raportării lor spre operator (error logging) ;

— adăugarea cu ușurință a tratării unor tipuri noi de eroare ;

— simplitate și eleganță în programare.

Nivelul 7

Realizează inițializarea întregului sistem la punerea sub tensiune, la apariția unei erori, la comanda ceasului de gardă sau la cerere. După caz, se realizează o pornire rece (inițializare completă) sau o pornire caldă (inițializare parțială, cu păstrarea nemodificată a zonelor de date de interes, a valorii ceasului etc.).

După terminarea inițializării se continuă cu funcția de gestiune a timpului. Este realizată măsurarea exactă a anumitor intervale de timp, operație utilă pentru celelalte niveluri software (de exemplu : comanda pentru scanarea mărimilor analogice, activarea periodică a modulelor pentru verificarea integrității sistemului, întreținerea ceasului astronomic, împrospătarea imaginilor pe ecrane, supravegherea ceasului de gardă etc.).

Nivelul 7 mai conține un modul standard pentru implementarea ceasului astronomic, care are în plus și sarcina de semnalizare a anumitor momente de timp specificate de programator (există posibilități de anunțare la fiecare minut, la un anumit minut, la fiecare oră, la o anumită oră). Pentru afișarea permanentă pe ecran a valorii ceasului este folosit un proces special, cu prioritate mică (în accepțiunea nucleului IQMTX).

O privire globală asupra structurii prezentate scoate în evidență următoarele aspecte :

— comunicarea între niveluri se realizează atît prin intermediul parametrilor de apel ai rutinelor, prin baza de date a sistemului, cît și folosind mecanismele de sincronizare și transfer de date puse la dispoziție de nucleul IQMTX ;

— în afară de nivelurile 4 și 5 care, din punctul de vedere al calculelor și al comunicației cu exteriorul, sînt specifice aplicației, celelalte niveluri sînt alcătuite din module generale, standardizate, cu funcții bine precizate, care sînt scrise o singură dată și refolosite la fiecare nouă aplicație. Mai mult, chiar și nivelurile 4 și 5 conțin module cu caracter general (afișarea pe ecrane, dialogul cu operatorul pe baza menu-urilor arborescente, gestiunea legăturii cu alte echipamente) ;

— aplicațiile tipice de supraveghere pot fi realizate integral pe baza structurii de programe prezentată, folosind modulele standardizate existente deja în biblioteca software creată la ICEMENERG.

1.2. Nucleul de timp real

Nucleul IQMTX operează cu trei noțiuni fundamentale :

— procesul — este o unitate de program cu funcție bine precizată, căreia i se alocă o anumită prioritate de execuție și care concurează pentru cîștigarea unității centrale și a resurselor sistemului împreună cu celelalte unități de program (procese) care alcătuiesc aplicația ;

— coșul — reprezintă mediul prin care un proces poate declanșa sau aștepta evenimente ;

— bila — este un obiect logic prin care se realizează sincronizarea și comunicarea între procese. Bilele nu au identitate, avînd importanță numai prezența sau absența unei bile într-un coș, precum și numărul lor.

Procesele pot acționa asupra coșurilor prin intermediul unor proceduri speciale, numite primitive, care sînt puse la dispoziție de nucleul IQMTX. Folosindu-le, se poate pune o bilă într-un coș, scoate o bilă sau aștepta apariția unei bile într-un coș o perioadă de timp limită, testa conținutul unui coș, dărîma (bloca) sau ridica (debloca) un coș.

Pentru a facilita transferul de date între procese a fost introdusă ulterior și a patra noțiune, aceea de coadă. Prin intermediul unei cozi, două sau mai multe procese pot schimba în mod ordonat informații sub formă de mesaje. Asupra cozilor acționează primitive similare cu cele referitoare la coșuri : pune mesaj la spatele cozii, pune mesaj în fața cozii, scoate un mesaj din fața cozii, testează dacă există mesaje în coadă, scoate un mesaj din față cu limită de timp de așteptare dacă coada este vidă.

Tratarea întreruperilor este realizată într-o manieră unitară, prin asocierea unui coș fiecărui nivel de întrerupere. Apariția unei întreruperi se materializează prin plasarea unei bile în coșul corespunzător. Ridicarea sau dărîmarea coșului respectiv determină activarea și respectiv dezactivarea nivelului de întrerupere. În cazuri speciale, anumite module, a căror activitate implică viteză mare de răspuns, pot fi cuplate direct la nivelul de întrerupere dorit, ocolind astfel tratarea prin intermediul coșurilor, oferită de nucleu.

Informația temporală este manevrată intern de nucleu și pusă la dispoziția utilizatorului prin intermediul primitivelor de așteptare (la coș sau la coadă) cu limită de timp.

În concluzie, din punctul de vedere al nucleului IQMTX, o aplicație este văzută ca o colecție de procese cu diferite priorități, care se sincronizează și comunică între ele prin intermediul coșurilor și cozilor, folosind bile și mesaje.

1.3. Organizarea bazei de date

Informațiile conținute în baza de date a aplicației se împart în două categorii :

— informații care reflectă starea momentană și evoluția anterioară a parametrilor instalației supravegheate ;

— informații care definesc interfața vizuală cu operatorul (imagini sinoptice și rapoarte la imprimantă).

Din prima categorie fac parte zonele de date aferente punctelor de măsură supravegheate (fig. 2). Fiecărui punct de măsură i se asociază o zonă de date unică, compactă, situată

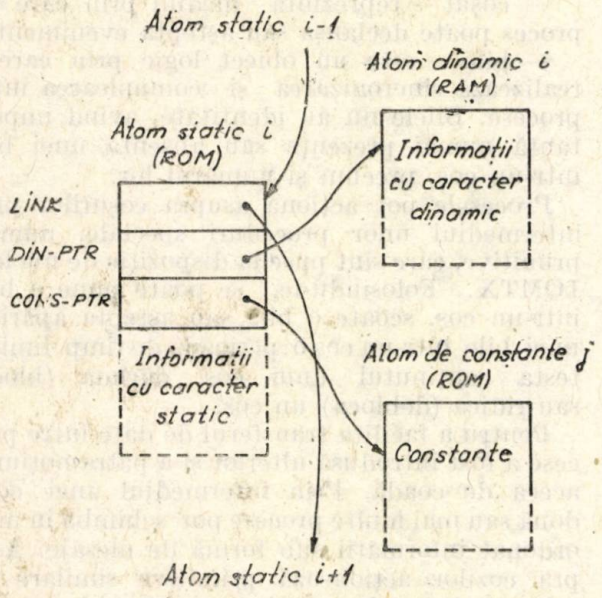


Fig. 2. Structura bazei de date pentru mărimile analogice

în spațiul memoriei ROM, care poartă denumirea de „atom static". Atomii statici sînt organizați în structuri de tip listă simplu înlănțuită. Există cîte o astfel de listă pentru fiecare categorie de puncte de măsură (analogice, binare, în impulsuri).

În componența atomului static intră toate informațiile cu caracter stabil care descriu un anumit punct de măsură (numele, modul de prelevare, tipurile prelucrărilor interne, interfața și numărul canalului pe care este cuplat, perioada de scanare sau de filtrare, textele afișate pentru semnalizarea situațiilor speciale etc.).

În cazul mărimilor de tip analogic, fiecare atom static conține o legătură (pointer) spre o zonă de date distinctă, numită „atom de constante", care conține constantele de conversie în format fizic, limitele de alarmare, diferite valori pentru simulare și formatul de afișare. S-a optat pentru această separare în favoarea economiei de memorie rezultată prin definirea unui singur atom de constante pentru mai mulți atomi statici, în cazul mărimilor cu aceeași gamă de variație și aceleași limite de alarmare.

A treia componentă a zonei de date care descrie un punct de măsură este „atomul dinamic", localizat în RAM și accesibil prin intermediul unui pointer situat în atomul static. Aici sînt grupate informațiile variabile în timp, care reflectă starea curentă a mărimii (valoarea întreagă, reală, în format ASCII, valoarea întreagă a lungimii bargrafului asociat, poziția față de limitele de alarmare, starea lanțului de măsură, poziția curentă și cea anterioară în cazul mărimilor binare), evoluția anterioară (valorile în real și în ASCII ale diferitelor medii, istoria evoluției pe un anumit interval de timp, durata cît un contact a stat într-o anumită stare), precum și un număr de informații auxiliare, cu caracter dinamic (contorul de filtrare, contorul pentru perioada de scanare etc.).

Din categoria informațiilor care definesc interfața vizuală cu operatorul fac parte descrierile imaginilor sinoptice de display, precum și structura rapoartelor pentru imprimantă. Un raport este obținut utilizînd un limbaj special, conceput la ICEMENERG, care permite descrierea formală, într-o manieră naturală, a conținutului și formatului de afișare ale raportului. Este generată astfel o zonă de date care, în urma interpretării adecvate, va permite obținerea raportului în forma dorită.

Pentru definirea imaginilor care apar pe ecrane se folosește aceeași organizare a datelor, sub formă de listă simplu înlănțuită, ca și în cazul punctelor de măsură. Fiecare imagine are asociat un atom static care conține informații despre : tipul imaginii, adresa zonei de descriere a componentei statice, numele imaginii, adresa atomului static pentru fiecare punct de măsură care apare pe imagine, împreună cu perechea de coordonate x, y și modul în care se afișează. Atomul dinamic are o structură simplă, conți-

nînd numai cîteva informații legate de starea momentană a imaginii.

Organizarea bazei de date sub formă de liste prezintă următoarele avantaje :

— exploatarea optimă a spațiului de memorie disponibil, prin crearea atomilor de lungimi diferite, în funcție de volumul de informații care trebuie memorat ;

— posibilitatea descrierii listelor în mai multe fișiere, evitînd astfel fișierele mari și greu de manevrat ;

— acumularea experienței și pregătirea instrumentelor necesare pentru etapa următoare, în care echipamentele de proces vor dispune de un spațiu mult mai mare de memorie RAM, suficient pentru a permite amplasarea atomilor statici. Se vor putea astfel implementa operații puternice de lucru cu listele, ca de pildă : extragerea unui atom din listă, plasarea unui atom în listă, sortarea listei etc.

Pentru a facilita procesul de punere la punct a unei aplicații, mai ales în cazul echipamentelor cu spațiu mic de memorie RAM, se recomandă decuplarea fișierelor care alcătuiesc baza de date de cele care conțin programele și înscrierea lor separată în memoria ROM. În acest fel se obține o micșorare semnificativă (de peste două ori) a dimensiunii modulului care trebuie testat (și care este înscris repetat în ROM), cu efecte importante asupra scurtării timpului de depanare și punere la punct a programelor, precum și asupra creșterii duratei de viață a memoriilor EPROM.

1.4.Structura unei aplicații tipice

Organizarea software-ului pe niveluri ierarhice, așa cum a fost prezentată anterior, este realizată pornind de la particular (niveluri inferioare) spre general (niveluri superioare), pe cînd organizarea în procese evidențiază activitățile distincte și ordonarea lor în funcție de importanța, ca viteză de răspuns, a fiecăreia. Din acest motiv apare o discrepanță între ierarhizarea software-ului și ordinea de priorități a proceselor unei aplicații. Totuși, ca regulă generală, un proces aparține în totalitate unui singur nivel ierarhic sau, în cazuri speciale, poate acoperi două niveluri adiacente.

În cadrul unei aplicații tipice se disting, ca procese importante, următoarele (enumerarea este în ordinea descrescătoare a priorităților, specificînd și nivelul ierarhic din care face parte procesul) :

— PINTIC (nivelul 7) — realizează inițializarea completă a resurselor hardware și a bazei de date, după care continuă cu măsurarea exactă a anumitor intervale de timp impuse de necesitățile aplicației ;

— PACTIM (nivelul 7) — este responsabil cu actualizarea în memorie a ceasului astronomic, precum și cu semnalizarea anumitor momente de timp specificate la configurare ;

— PBIN (nivelurile 3 și 4) — se ocupă cu tratarea mărimilor binare actualizînd baza de date cu valorile momentane ale acestora. În aplicațiile în care interesează cronologia evenimentelor binare, acest proces realizează suplimentar și salvarea într-o zonă de memorie a modificărilor de contacte detectate, în ordinea în care au apărut ;

— PMEN (nivelul 5) — interpretează și execută comenzile primite de la operator prin intermediul terminalelor de tip consolă. Numărul proceselor de acest tip este egal cu numărul consolelor cuplate simultan la echipament ;

— PREX (nivelul 5) — realizează interpretarea informațiilor primite din exterior (de la alte echipamente) și luarea deciziilor aferente. Pot exista mai multe procese PREX, dependent de numărul de echipamente exterioare cu care se comunică ;

— PREF (nivelul 5) — actualizează imaginile afișate pe ecrane folosind informațiile momentane din baza de date. Numărul de procese PREF este egal cu numărul terminalelor de tip CRT cuplate la echipament ;

— PANA (nivelurile 3 și 4) — realizează achiziția, prelucrările primare și mediile mărimilor analogice. Pot exista mai multe procese PANA (cîte unul pentru fiecare interfață de intrări analogice), sau un singur proces PANA pentru întreaga aplicație ;

— PCALS (nivelul 4) — realizează calculele specifice aplicației (sume, corecții, bilanțuri, mers economic etc.), memorînd rezultatele în baza de date a sistemului ;

— PTEX (nivelul 5) — comandă transmisia periodică spre alte echipamente din configurație a informațiilor de interes din baza de date a sistemului, precum și a altor mesaje specifice. Pot fi mai multe procese PTEX, în funcție de numărul echipamentelor exterioare cu care se comunică ;

— PRAP (nivelul 5) — generează rapoartele pentru imprimantă, depune (eventual) conținutul acestora în zone de memorie predefinite și, dacă imprimanta este operațională, realizează listarea efectivă a rapoartelor ;

— PAFTIM (nivelul 7) — afișează ceasul astronomic pe terminalele de tip CRT ;

— PVER (nivelul 6) — implementează operațiile de verificare periodică a integrității sistemului.

Aplicațiile uzuale nu conțin neapărat toate procesele prezentate. De pildă, în cazul unei aplicații cu un singur echipament vor lipsi procesele PREX și PTEX, în timp ce dacă nu există dialog direct cu operatorul (prin terminale de tip CRT) vor lipsi procesele PMEN, PREF și PAFTIM. De asemenea, ordinea priorităților este orientativă, anumite procese devenind mai importante sau mai puțin importante (ca viteză de reacție), în funcție de specificul aplicației.

În afară de procese, o aplicație de supraveghere în timp real dispune și de o serie de module speciale, cuplate direct la întreruperi, și anume :

— dBIN (nivelul 3) — sesizează apariția evenimentelor binare (cîte un modul pentru fiecare interfață fizică);

— dFILT (nivelul 3) — implementează mecanismul de filtrare software a vibrațiilor mărimilor binare (un singur modul, cuplat pe o întrerupere de ceas);

— dREC (nivelul 2) — recepționează blocuri de date (cîte un modul pentru fiecare linie de legătură cu echipamentele exterioare);

— dTRS (nivelul 2) — transmite blocuri de date (cîte un modul pentru fiecare legătură exterioară). Modulele dREC și sTRS sînt utilizate pentru implementarea comunicației între două echipamente pe o linie de legătură (serială sau paralelă), cu protocol specializat sau fără protocol;

— dCI (nivelul 1) — preia comenzile operatorului și le memorează într-o zonă tampon (cîte un modul pentru fiecare consolă cuplată la echipament);

— dTO (nivelul 1) — afișează șiruri de caractere pe terminale (un modul pentru fiecare terminal).

Într-un caz concret se vor selecta, evident, numai modulele care servesc scopului propus.

1.5. Configurarea aplicațiilor

Particularizarea sistemului de programe prezentat pentru o anumită aplicație comportă patru operații distincte :

1. Definirea informațiilor statice din baza de date a aplicației. Pentru aceasta se creează fișiere cu descrierea tuturor punctelor de măsură, se editează imaginile sinoptice de display, se creează atomii statici pentru aceste imagini, se descriu rapoartele pentru imprimantă. În urma acestor operații rezultă un set de fișiere din care se va genera baza de date a aplicației. Pentru facilitarea procesului de testare și punere în funcțiune a programelor, se recomandă ca fișierele bazei de date să fie link-editate împreună și înscrise în memoria ROM separat de celelalte fișiere ale aplicației. O altă posibilitate este de a lega aceste fișiere, eventual constituite într-o bibliotecă, de restul fișierelor aplicației, rezultînd un unic modul care se înscrie în ROM.

2. Definirea configurației hardware a echipamentului. Această operație se realizează completînd un fișier cu informații despre toate interfețele fizice existente în configurație (seriale, paralele, extensie de memorie, disc, ceas de gardă, interfețe de intrări analogice și binare etc.). Pentru fiecare interfață sînt precizate : identificatorul (ID), numele, driverii, precum și alte informații specifice.

3. Configurarea aplicației din punctul de vedere al nucleului de timp real. Este creat un fișier care va conține următoarele informații :

— numele proceselor care alcătuiesc aplicația, împreună cu prioritatea de execuție a fiecăruia;

— numele coșurilor utilizate și capacitatea acestora (numărul maxim de bile);

— lungimea stivelor proceselor;

— valoarea cuantei de timp a sistemului;

— tratarea situațiilor de eroare.

Structura acestui fișier trebuie să respecte standardul impus de nucleul IQMTX.

4. Definirea elementelor specifice aplicației. Modulele software cu caracter general au posibilitatea de a fi configurate din exterior, în anumite limite, prin stabilirea unor parametrii ai funcționării conform specificului aplicației. Controlul este realizat cu ajutorul unui număr de constante globale, ale căror valori trebuie impuse de programator în faza de configurație. Se definesc astfel conținutul anumitor texte care se afișează, poziția lor pe ecrane, valorile unor intervale de timp necesare funcționării aplicației, conținutul nodului principal al meniului arborescent (sau nodurilor, dacă sînt mai multe terminale de tip consolă operator), momentele de timp care trebuie semnalizate de ceasul astronomic, conținutul unei rutine de inițializare specifică aplicației, diferite constante, precum și alte informații care particularizează sistemul de programe la cerințele aplicației curente. Toate aceste informații sînt grupate într-un fișier unic, destinat special acestui scop.

În cazul aplicațiilor complexe care necesită anumite funcții specifice, neimplementate în modulele standard existente, este necesară, pe lîngă cele patru operații de configurare indicate, o fază importantă de elaborare a modulelor program suplimentare (module care se încadrează, de regulă, în nivelurile 4 sau 5 ale structurii software prezentate).

2. Mediul de dezvoltare a programelor

Realizarea, testarea, depanarea și punerea la punct a sistemului de programe pentru o aplicație de supraveghere a proceselor sînt operații care impun utilizarea unui calculator echipat cu suport extern de memorie (floppy disc sau hard disc). Dintre microcalculatoarele românești se pot folosi CUBZ, MADS, M118 sau JUNIOR, funcționînd sub sistemul de operare CP/M.

Modulele software din cadrul structurii prezentate au fost scrise în limbaj de asamblare pentru I8080 și Z80, utilizînd macroasamblorul M80. Pentru elaborarea modulelor noi se pot folosi, de asemenea, limbajul Pascal (în versiunea lui pentru compilatorul PASCAL/MT+) sau limbajul C (Aztec). Pentru legarea și locatarea modulelor a fost ales link-editorul LINKMT, datorită facilităților pe care le

oferă pentru înscrierea programelor în ROM, la diferite adrese. Crearea bibliotecilor se realizează cu utilitarul LIBMT, din aceeași familie. O altă variantă este oferită de familia L80, LIB80 a firmei Microsoft.

Operațiile specifice dezvoltării aplicațiilor de proces impun existența unor instrumente software care să asiste programatorul, preluînd o cît mai mare parte din sarcini. Resimțind această necesitate, la ICEMENERG au fost create mai multe programe utilitare, subordonate scopului amintit. Iată cîteva dintre ele :

— Editorul semigrafic PICTOR, utilizat pentru crearea imaginilor sinoptice de display. Editarea se face orientat pe ecran, în final rezultînd, pentru fiecare imagine creată, două fișiere : unul cu descrierea statică a imaginii, iar celălalt cu informații necesare pentru afișarea părții dinamice (coordonatele x, y pentru fiecare punct de măsură care apare pe imagine, condițiile de afișare etc.). Funcționează pe CUBZ, M118 sau pe orice sistem la care este cuplat un terminal de tip VDT-40C sau VDT-52S.

— Dacă dezvoltarea programelor se face pe un alt echipament decît cel destinat aplicației, atunci sînt necesare operații de transfer de fișiere de pe calculatorul „gazdă" pe echipamentul „țintă", eventual și invers, fiind utilă și o funcție de transformare a „gazdei" în simplu terminal cuplat direct la „țintă". Toate aceste funcțiuni sînt puse la dispoziție de programul RT & FT (Remote Terminal & File Transfer), care are versiuni de implementare pentru CUBZ, MADS, JUNIOR (gazde) și SPOT-83, MADS (ținte).

— Pentru a face cuplarea, din punctul de vedere al variabilelor globale, între două module de program link-editate separat, dar care sînt destinate să lucreze împreună, se folosește programul SYM. Acesta, pornind de la fișierul cu simboluri generat de LINKMT (opțiunea/W) pentru unul din module, generează un fișier care conține declarații „public" și definiții pentru toate variabilele globale aferente. Fișierul rezultat se asamblează cu M80 și apoi se link-editează împreună cu fișierele celui de-al doilea modul.

— Calculul limitelor de alarmare, precum și al constantelor de conversie în unități inginerești (pentru mărimile analogice) se realizează cu ajutorul programului VM.

Un utilitar de firmă folosit intens în procesul de realizare a aplicațiilor este dBASE II. Cu ajutorul acestuia se face gestiunea informațiilor referitoare la punctele de măsură. Fișierele care rezultă sînt folosite la generarea bazei de date a aplicației.

* * *

Sistemul de programe prezentat a fost implementat în cadrul mai multor aplicații realizate la ICEMENERG, laboratorul LASIC.

Cea mai importantă este proiectarea și implementarea software-ului destinat pupitrului cu tehnică de calcul (PTC) pentru grupuri de 50 MW realizat la ICEMENERG. În componența echipamentului PTC intră două unități centrale distincte, care comunică printr-o legătură paralelă. Un procesor este folosit pentru funcția de comunicație cu exteriorul prin legături seriale, iar celălalt pentru funcția propriu-zisă de pupitru (afișări, protocolări, calcule etc.). Fiecare unitate centrală poate fi considerată ca alcătuind un echipament distinct, cu sistem de programe independent. Este o aplicație deosebită, atît datorită importanței economice a obiectivului (supravegherea funcționării grupurilor de 50 MW), cît și privind complexitatea tehnică a sistemului informatic folosit.

Printre alte aplicații care au la bază structura software prezentată, mai pot fi menționate :

— sistem pentru supravegherea proceselor din energetică cu echipamente de tip SPOT-83, pus în funcțiune la CET Botoșani ;

— dispozitiv pentru analiza postavarie în centrale electrice, implementat la I.E. Mintia și la CET Botoșani ;

— dispozitiv pentru telegestiunea puterii și energiei electrice (DIEN) ;

— sistem pentru probe și măsurători complexe ale piloților industriali de agregate aeroelectrice.

În perspectivă, la ICEMENERG există preocupări pentru realizarea unui generator automat de aplicații de proces, care să exploateze structura de program prezentată.

(Primit la 3 aprilie 1989, acceptat la 27 iulie 1989)

Modernizarea instalației de măcinare și ardere a lignitului la cazanul de 370 t/h din CET Işalnița

Ing. MIRCEA RĂDULESCU, dr. ing. TEODOR POPA *

Descriptori: cazane, mori cărbune

La un cazan de abur de 370 t/h de la CET Işalnița fabricat de firma PBZKG-Brno (R.S.C.) și pus în funcțiune în anul 1964, instalația de măcinare și ardere a fost modernizată prin colaborarea ICEMENERG București — Tehenergo Sofia (Bulgaria) — IE Craiova, pentru asigurarea funcționării cu lignit de calitate înrăutățită, în banda de calitate actuală 5,45—7,54 MJ/kg (1 300—1 800 kcal/kg) față de banda de calitate din proiectul inițial 6,70—8,38 MJ/kg (1 600—2 000 kcal/kg).

Într-o primă etapă s-a realizat reconstrucția morilor ventilator în soluția cu rotor tronconic, s-au introdus concentratoare de praf în două trepte ($l = 0{,}5$, $g = 0{,}8$) și s-au înlocuit arzătoarele de praf, conform proiectelor întocmite de Tehenergo Sofia.

Cu toate că rezultatele probelor și măsurătorilor de performanță au fost satisfăcătoare, morile ventilator reconstruite cu rotor tronconic realizînd un debit mediu de cărbune măcinat de 40 t/h mai mare cu 33 % față de morile inițiale, experiența de exploatare a morilor modificate a arătat, pe de o parte, că acestea au o siguranță de funcționare redusă datorită particularităților constructive ale rotorului, iar, pe de altă parte, au apărut uzuri foarte mari ale discurilor acestor rotoare. În exploatarea morilor s-au produs mai multe avarii și s-a înregistrat o creștere apreciabilă a volumului și cheltuielilor pentru lucrările de întreținere și reparații.

Pentru înlăturarea acestor neajunsuri, ICEMENERG București și IE Craiova au inițiat lucrări de cercetare-proiectare pentru realizarea unei mori cu rotor de formă cilindrică care să aibă performanțe în exploatare (debit, finețe de măcinare) apropiate de moara cu rotor tronconic, în condițiile păstrării concentratoarelor de praf și arzătoarelor de praf modernizate. Moara cu rotor cilindric — proiect ICEMENERG — a realizat un debit mediu de cărbune măcinat de 37 t/h, mai mare cu 23 % față de moara inițială. Sistemul de preparare a prafului în vederea arderii a fost optimizat în scopul asigurării debitului maxim de cărbune măcinat, a fineții corespunzătoare a prafului ($R_{1000} = 2—2{,}6\,\%$, $R_{90} = 50—60\,\%$), precum și a parametrilor convenabili de separare ai concentratorului de praf pentru o stabilitate bună a arderii. Moara reconstruită cu rotor cilindric a dovedit o siguranță crescută în funcționare.

Probele și măsurătorile de performanță la cazanul echipat cu instalația de măcinare și ardere modernizată (mori cu rotor cilindric-proiect ICEMENERG, concentratoare și arzătoare de praf — proiect Tehenergo) au demonstrat realizarea parametrilor și funcționarea fără adaos de hidrocarburi în domeniul de sarcini 65—100 %. Rezultatele bune obținute în exploatarea cazanului cu instalația de măcinare și ardere modernizată recomandă extinderea acesteia și la celelalte cazane de 330/370 t/h din CET Işalnița.

The milling and burning installation of the 370 t/h steam boiler of the Işalnița heat and power plant was improved. The boiler was built by the company PBZKG Brno (Czechoslovakia) and was commissioned in 1964. The modernizing activities were carried out in co-operation between the Energy Research and Modernizing Institute (ICEMENERG) Bucharest, Tehenergo Sofia (Bulgaria) and the Power Plants Enterprise (IE) Craiova, and they were meant to ensure low grade lignite burning, in the present quality range 5.45—7.54 MJ/kg (1 300—1 800 kcal/kg) as compared to the former coal quality range for which the project had been initially designed, i.e. 6.70—8.38 MJ/kg (1 600—2 000 kcal/kg).

In the first stage, the fan mills were reconstructed with tapered rotor, two stage dust concentrators were introduced ($l = 0.5$, $g = 0.8$) and dust burners replaced according to the Tehenergo Sofia project.

Although performances tests and measurements results were quite satisfactory, tapered rotor rebuilt fan mills with an average coal flow of 40 t/h, 33 % higher than at the former mills, operation experience of rebuilt mills has shown some disadvantages due to rotor construction peculiarities.

In order to avoid these disadvantages, ICEMENERG Bucharest and IE Craiova have begun a research-design-activity in order to build a cylindrical rotor mill with operation characteristics (flow, grinding fineness) close to the tapered rotor mill ones, and preserving modernized dust concentrators and burners. The cylindrical rotor mill designed at ICEMENERG, has an average grinding flow of 37 t/h, larger with 23 % than the initial mill. The dust preparing system has been optimized as well in order to provide the maximal ground coal flow, the suitable dust fineness ($R_{1000} = 2—2.6\,\%$, $R_{90} = 50—60\,\%$), as well as of convenient dust concentrator separation parameters for a good burning stability. The cylindrical rotor mill has a high reliability.

Performances tests and measurements of the modernized grinding and burning installation (cylindrical rotor mills, designed at ICEMENERG, dust concentrators and burners designed at Tehenergo) have demonstrated that parameters and burning within 65—100 % load range can be achieved without hydrocarbons. Good operation results with the modernized grinding and burning installation favours its wider use with other 330/370 t/h boilers from the Işalnița combined heat and power plant.

Cazanul de abur de 370t/h este un cazan cu circulație naturală, fără supraîncălzire intermediară, cu următorii parametri nominali:

— debit de abur viu 102,8 kg/s (370 t/h)
— presiunea nominală a aburului viu 135,2 bar
— temperatura nominală a aburului viu 813 K (540°C)
— temperatura apei de alimentare 508 K (235°C)

* Mircea Rădulescu, dr. ing. Teodor Popa — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București

Cazanul a fost fabricat de firma PBZKG — Brno din Cehoslovacia și a fost pus în funcțiune în anul 1964, realizînd pînă în prezent 165000 ore de funcționare.

Construcția focarului este cu flacără în formă de U, cu arzătoarele amplasate la partea superioară, cazanul fiind prevăzut cu trei drumuri de gaze de ardere și cu preîncălzitor de aer cu țevi (fig. 1).

Cazanul este echipat cu șase sisteme de preparare și ardere a prafului cu insuflare directă, cu mori ventilator tip MV-38; conform proiectului debitul de cărbune măcinat de moara ventilator MV-38 în soluția inițială (fig. 2 *a*) trebuia să fie de 34 t/h, iar finețea de măcinare a prafului caracterizată prin $R_{90} = 50\%$.

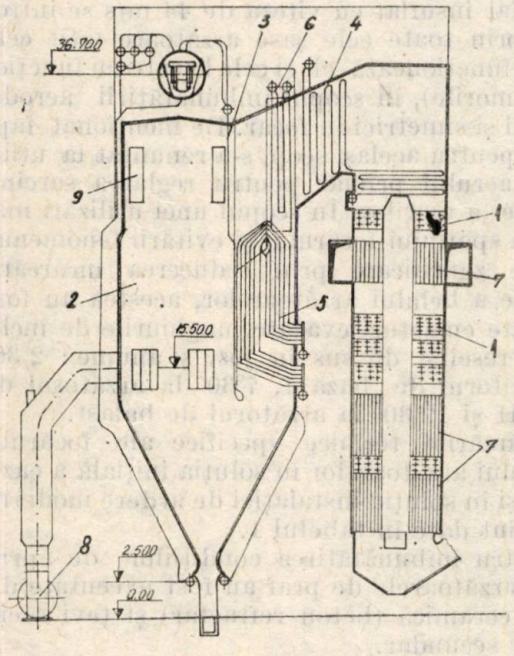


Fig. 1. Cazanul de abur de 370 t/h: 1 — economizor; 2 — vaporizator; 3 — supraîncălzitor I; 4 — supraîncălzitor II; 5 — supraîncălzitoare III, IV; 6 — supraîncălzitor V; 7 — preîncălzitor de aer cu țevi; 8 — moară ventilator; 9 — arzător de praf.

Combustibilul pentru care a fost proiectat cazanul este lignitul din bazinul Oltenia-Nord cu următoarele caracteristici:

— puterea calorică inferioară (Q_i^i)	6,70 — 8,38 MJ/kg (1600 — 2000 kcal/kg)
— conținutul de umiditate la masa inițială (W_t^i)	40 — 46%
— conținutul de cenușă la masa inițială (A^i)	20 — 24%
— granulația	0 — 25 mm

Calitatea lignitului cu care a fost alimentată centrala electrică s-a înrăutățit continuu față de banda de calitate avută în vedere la proiectare. Înrăutățirea calității s-a produs ca urmare a creșterii conținutului de cenușă din lignit și scăderii în consecință a puterii calorice. Lignitul cu care este alimentată în prezent CET Işalnița are banda de calitate $Q_i^i = 5{,}45 - 7{,}54$ MJ/kg (1300—1800 kcal/kg), $W_t^i = 35 - 46\%$, $A^i = 23 - 37\%$.

Aceasta a dus la scăderea apreciabilă a sarcinii cazanului realizate pe lignit, datorită limitării debitului morilor la circa 30 t/h, precum și la creșterea apreciabilă a consumului de hidrocarburi (gaze naturale și gaze reziduale de la Combinatul Chimic Craiova) pentru stabilizarea arderii și asigurarea necesarului de abur solicitat; în ultima perioadă aportul caloric al hidrocarburilor a fost 15—20%.

În aceste condiții, în scopul creșterii debitului morilor ventilator, concomitent cu reducerea consumului de hidrocarburi s-a luat hotărîrea executării unor cercetări experimentale pentru reconstrucția instalației de măcinare și ardere a lignitului în soluții modernizate [1].

Soluții experimentate pentru reconstrucția morilor ventilator și a instalației de ardere a lignitului

Într-o primă etapă s-a realizat modificarea instalației de măcinare și ardere a prafului de lignit la un cazan în colaboare cu firma Tehenergo — Sofia (R. Bulgaria). Documentația tehnică elaborată de această firmă prevedea următoarele soluții principale de modificări:

— reconstrucția morilor ventilator prin introducerea rotoarelor de formă tronconică (fig. 2 *b*) și înlocuirea separatoarelor de praf;

— introducerea concentratoarelor de praf;

— reconstrucția instalației de ardere a prafului și gazelor.

Instalația reconstruită de măcinare și ardere a lignitului a fost dimensionată pentru asigurarea funcționării cazanului cu patru sisteme de preparare la sarcină nominală cu cărbune cu $Q_i^i = 5{,}86 - 8{,}38$ MJ/kg (1400 — 2000 kcal/kg), $W_t^i = 41 - 48\%$, $A^i = 22{,}5 - 30{,}7\%$. Sarcina minimă a cazanului la care s-a prevăzut arderea stabilă a lignitului de 5,45 MJ/kg (1300 kcal/kg) cu conținut de cenușă $A^i = 30{,}4\%$ a fost de 260 t/h (70%), cu trei sisteme de preparare în funcțiune.

Moara de cărbune reconstruită în soluția cu rotor tronconic (vezi fig. 2 *b*) a fost dimensionată pentru asigurarea unui debit de cărbune măcinat de 40 t/h, necesar funcționării cazanului la sarcina nominală cu patru sisteme de preparare în condiții de uzură medie. Debitul maxim al morii a fost prevăzut de 49 t/h, cu un debit ventilat de agent de uscare și transport la 129000 m³/h (35,83 m³/s) și o finețe de măcinare caracterizată de $R_{1000} = \text{max. } 2{,}5\%$. Aceste performanțe au fost prevăzute în condițiile realizării unei etanșeități corespunzătoare a sistemului de preparare a prafului ($K_{inf} =$

= 0,4 m³ aer fals/m³ gaze de ardere aspirate din focar) și a focarului ($\Delta\alpha_f = 0{,}05$).

Pentru asigurarea stabilității arderii prafului de cărbune a fost prevăzut un concentra-

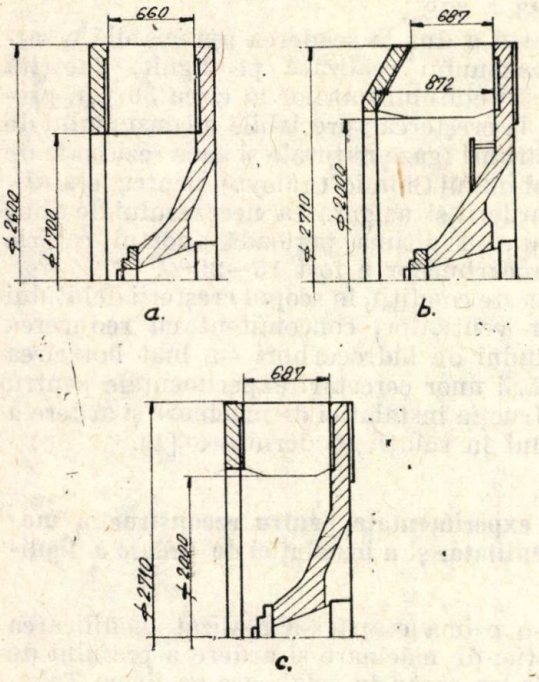


Fig. 2. Reconstrucția rotorului la moara ventilator MV-38: a — rotor cilindric inițial; b — rotor tronconic; c — rotor cilindric reconstruit.

tor centrifugal de praf în două trepte (fig. 3), cu posibilitate de reglare a unghiului de înclinare a paletelor de turbionare între 20—45°. În acest fel se poate asigura posibilitatea reglării operative a gradului de separare a prafului pe cele trei etaje ale arzătorului de praf,

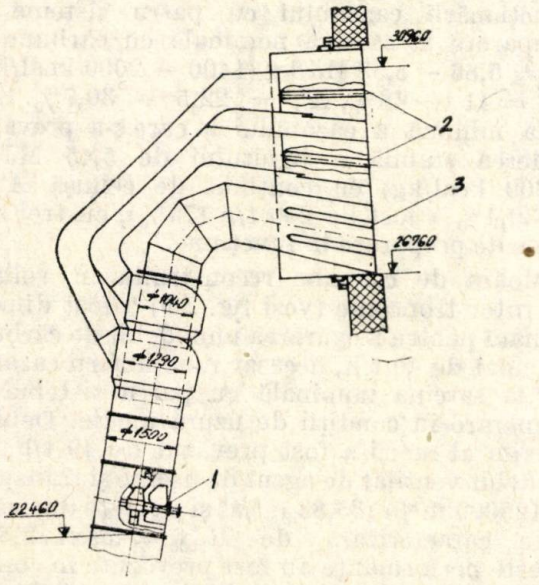


Fig. 3. Concentratorul și arzătorul de praf: 1 — concentrator de praf reglabil; 2 — arzător de bază; 3 — arzător de balast.

și anume creșterea concentrației prafului la arzătoarele „de bază" în cazul înrăutățirii calității lignitului și la scăderea sarcinii cazanului sau reducerea gradului de separare a prafului pentru evitarea fenomenului de zgurificare în cazul unui lignit cu caracteristici la limita superioară a benzii de calitate și la sarcini mari ale cazanului. Pentru condiții normale s-a prevăzut funcționarea concentratorului de praf cu gradul total de separare pe partea de praf $g = 0{,}8$, iar pe partea de aer $l = 0{,}5$.

Arzătorul de praf (vezi fig. 3) este realizat cu trei etaje : două etaje „de bază" cu fante de amestec primar cu concentrație ridicată insuflat cu viteza 10,5 m/s și un etaj „de balast", la partea inferioară, prin care se insuflă amestecul primar sărac cu viteza de 16,4 m/s. Aerul secundar insuflat cu viteza de 44 m/s se introduce prin toate cele șase arzătoare (atît cele la care funcționează, cît și cele la care nu funcționează morile), în scopul îmbunătățirii aerodinamicii și simetriei în focar. De menționat faptul că pentru același scop, s-a renunțat la utilizarea aerului primar pentru reglarea sarcinii minime a morilor. În scopul unei utilizări mai bune a spațiului focarului și evitării fenomenului de zgurificare prin reducerea încărcării termice a brîului arzătoarelor, acestea au fost realizate cu jeturi evazate, unghiurile de înclinare crescînd de sus în jos, și anume : 2°30′ la arzătorul de bază I, 7°30′ la arzătorul de bază II și 12°30′ la arzătorul de balast.

Încărcările termice specifice ale focarului și brîului arzătoarelor în soluția inițială a cazanului și în soluția instalației de ardere modernizate sînt date în tabelul 1.

Pentru îmbunătățirea condițiilor de aprindere, arzătoarele de praf au fost executate din masă ceramică (beton refractar) și țevi răcite cu aer secundar.

Arzătoarele de gaze inițial existente, instalate la partea inferioară a arzătoarelor de praf, au fost înlocuite pentru asigurarea spațiului necesar pe înălțime noilor arzătoare de praf. Au fost prevăzute trei arzătoare de gaze, fiecare de 3000 m³/h, cîte unul pe peretele frontal și pereții laterali ai focarului, între arzătoarele de praf. Arzătoarele de gaze au fost prevăzute cu arzătoare de aprindere (pilot) de debit redus, care funcționează în permanență, creînd astfel condițiile necesare aprinderii rapide a arzătoarelor de debit mare.

Probele și măsurătorile efectuate au demonstrat realizarea în cea mai mare parte a datelor de calcul, mai puțin asigurarea funcționării cazanului la sarcina nominală cu patru mori cu cărbune la limita inferioară a benzii de calitate, sub 6,1 MJ/kg (1450 kcal/kg).

Cu toate că rezultatele probelor și măsurătorilor au fost satisfăcătoare, experiența de exploatare și reparații a morilor modificate cu rotor de formă tronconică a demonstrat că

Tabelul 1

Încărcări termice specifice ale focarului

Mărimea	Soluția inițială	Soluția modernizată
Încărcarea termică specifică de volum a focarului, kW/m³	163	163
Încărcarea termică specifică a secțiunii focarului, MW/m²	3,79	3,79
Încărcarea termică specifică pe brîul de arzătoare :		
— de suprafață, MW/m²	2,23	2,02
— de volum, MW/m³	1,03	0,95
Încărcarea termică specifică pe brîul de arzătoare de bază :		
— de suprafață, MW/m²	—	2,9
— de volum, MW/m³	—	1,34

acestea au unele dezavantaje. Astfel, în exploatare a apărut o eroziune mărită la discurile rotorului, iar volumul și cheltuielile lucrărilor de reparație și întreținere au crescut. Pentru îmbunătățirea în continuare a instalației, ICEMENERG în colaborare cu IE Craiova a inițiat lucrări de cercetare și proiectare în scopul realizării unei mori cu rotor cilindric în locul rotorului tronconic, care să aibă performanțe în exploatare apropiate de acesta [2]. La realizarea acestei noi soluții s-a avut în vedere menținerea schemei de insuflare directă cu concentrator de praf și arzătoarele de praf conform proiectului Tehenergo — Sofia, care să fie adaptate noii construcții a morii ventilator cu rotor cilindric.

La noul rotor al morii (fig. 2 *c*) s-a menținut aceeași viteză periferică la diametrul interior ($u_1 = 63{,}2$ m/s) ca la rotorul tronconic, același număr de palete ($z = 12$), dar s-a redus lățimea paletei la intrare în rotor. Analiza efectuată a arătat că în cazul sistemului de preparare și ardere cu moară cu rotor cilindric astfel construită, debitul de agent de uscare și transport se diminuează cu circa 8%, iar debitul de cărbune măcinat cu circa 10% față de moara cu rotor tronconic. Pentru asigurarea unei ventilații corespunzătoare a morii cu rotor cilindric modificat și a unui debit de cărbune măcinat maxim posibil, fără diminuarea avantajelor pentru aprinderea și arderea prafului oferite de concentratorul de praf, s-a prevăzut micșorarea unghiului α de înclinare a paletelor de turbionare ale acestuia (vezi fig. 3), pentru reducerea pierderilor de presiune, urmînd ca valoarea optimă a unghiului să fie stabilită experimental.

În final, a rezultat că realizarea sarcinii nominale a cazanului la limita inferioară a benzii de calitate se va face la funcționarea cu cinci sisteme de preparare și ardere echipate cu mori reconstruite cu rotor cilindric. S-a ajuns, de asemenea, la concluzia că scăderea vitezei agentului primar în canalele de praf și la ieșirea din arzătorul de praf este neînsemnată, astfel încît nu vor apărea depuneri de praf în canale sau depuneri de zgură în arzător și înrăutățirea condițiilor de ardere.

Pentru prevenirea avariilor la morile reconstruite cu rotor cilindric s-a modificat modul de fixare al paletelor pe discurile rotorului : în scopul micșorării solicitării mari prin presiune la contact față de cazul rotorului tronconic, s-a prevăzut preluarea eforturilor pe o suprafață mult mai mare, de către traversele de legătură între discul principal și discul de acoperire. De asemenea, datorită numărului mare de incidente apărute la cupla cu alice dintre moară și electromotorul de antrenare, aceasta a fost înlocuită cu o cuplă rigidă.

Un cazan de 370 t/h a fost echipat cu mori reconstruite cu rotor cilindric — proiect ICEMENERG și concentratoare de praf și arzătoare de praf — proiect Tehenergo Sofia.

Rezultatele experimentării instalației modernizate de măcinare și ardere a lignitului

Rezultatele măsurătorilor de performanță efectuate la morile ventilator MV-38 la funcționarea cu lignit din bazinul Oltenia-Nord, înainte și după reconstrucție, sînt date în tabelul 2 ; în același tabel sînt date duratele ciclului de funcționare între două reparații cu înlocuirea paletelor rotorului și debitul mediu de cărbune măcinat pe acest ciclu.

Din datele măsurătorilor rezultă că s-a realizat o creștere a debitului de cărbune mediu măcinat pe ciclul de funcționare de 33% la moara cu rotor tronconic și de 23% la moara cu rotor cilindric față de moara în soluție inițială.

Debitul maxim de cărbune măcinat de moara în stare nouă echipată cu rotor tronconic a fost de 48 t/h, iar de moara reconstruită cu rotor cilindric de 44,3 t/h ; debitul de cărbune măcinat de moara reconstruită cu rotor cilindric la uzura maximă a fost de 29—30 t/h.

Concomitent cu creșterea debitului morilor reconstruite s-a obținut o îmbunătățire substanțială a fineții de măcinare a prafului. Pentru optimizarea valorii fineței de măcinare s-a stabilit, prin experimentări, poziția optimă a clapetei mobile la separatorul morii (fig. 4) corespunzătoare unui unghi $\beta = 40 - 45°$. De asemenea, prin experimentări a fost stabilită înclinarea optimă a paletelor concentratorului de praf în cazul sistemului de preparare și ardere a prafului echipat cu moara cu rotor tronconic la un unghi $\alpha = 35°$. La trecerea la moara cu rotor cilindric modificat, pentru asigurarea debitului maxim ventilat de agent de uscare și transport, a unei finețe de măcinare corespunzătoare, concomitent cu parametrii convenabili de separare ai concentratorului de

Tabelul 2

Rezultatele măsurătorilor de performanţă la moara ventilator MV-38

Moara / Rezultate experimentale	Rotor iniţial (fig. 2*a*)	Rotor tronconic (fig. 2*b*)		Rotor cilindric (fig. 2*c*)		
	mediu uzată	nouă	mediu uzată	nouă	mediu uzată	mediu uzată
1. Înclinarea paletelor concentratorului de praf	—	35°	35°	35°	35°	20°
2. Debit de cărbune măcinat, t/h	30,4	48,0	40,1	44,3	36,0	37,2
3. Debit de agent de uscare şi transport, m^3/h	100700	115500	97200	88200	91600	111200
4. Fineţea de măcinare a prafului R_{1000}, %	5,5	2,6	2,7	1,3	2,0	2,6
R_{90}, %	52,2	60,9	55,4	25,9	35,0	59,4
5. Calitatea cărbunelui, Q_i^i, MJ/kg	6,85	6,97	7,40	7,46	5,55	6,83
(kcal/kg)	(1635)	(1665)	(1765)	(1780)	(1325)	(1630)
W_t^i, %	35,1	41,1	42,7	37,8	36,2	36,5
A^i, %	32,6	25,0	21,7	26,6	34,8	26,8
6. Coeficientul de infiltraţii de aer fals, m^3 aer/m^3 g.a.	0,57	0,34	—	0,42	—	0,58
7. Temperatura gazelor aspirate din focar, °C	840	—	950	840	—	840
8. Temperatura la ieşire din separator, °C	120	130	130	110	95	115
9. Ciclu de funcţionare între două reparaţii cu repaletarea rotorului, ore	1500	1200		1300		
10. Debitul mediu de cărbune măcinat pe ciclu de funcţionare, t/h	30	40		37		

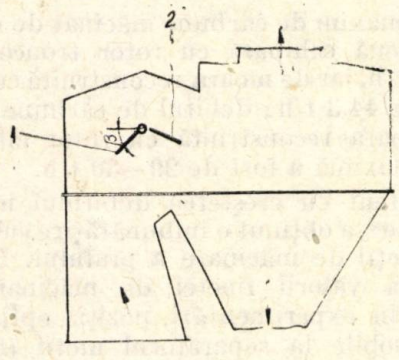


Fig. 4. Separatorul morii MV-38 reconstruită: 1 — clapetă mobilă; 2 — clapetă fixă.

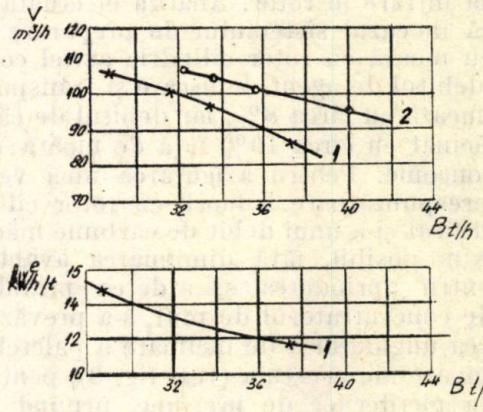


Fig. 5. Caracteristici de funcţionare ale morii MV-38 (moară cu uzură medie): 1 — moară cu rotor cilindric nou (u_1 = = 63,2 m/s, u_2 = 83,7 m/s); 2 — moară cu rotor tronconic (u_1 = 63,2 m/s, u_2 = 83,7 m/s).

praf, s-a stabilit, de asemenea prin experimentări, că acestea se obţin la unghiul de înclinare a paletelor de turbionare $\alpha = 20°$.

În figura 5 sînt prezentate caracteristicile de funcţionare ale morii MV-38 în variantele de reconstrucţie cu rotor tronconic şi cu rotor cilindric, ridicate prin măsurători pentru mori în stare medie de uzură, cu concentratorul de praf şi arzătorul de praf în aceeaşi stare. Se constată o alură aplatisată a caracteristicilor de ventilaţie în ambele variante de reconstrucţie a morii, ceea ce asigură condiţii bune de

funcţionare a sistemului moară-arzător de praf. Consumul specific de energie electrică pentru măcinarea lignitului realizat de moara reconstruită cu rotor cilindric a fost de 11,8—12 kWh/t la moara nouă şi 14—15 kWh/t la moara uzată.

Pe baza rezultatelor măsurătorilor efectuate la mori şi a urmăririi comportării lor în exploatarea de durată se poate face următoarea fişă cu parametrii morii MV-38 echipată cu rotor cilindric — proiect ICEMENERG, la funcţionarea cu lignit în banda de calitate 5,86 — 7,54 MJ/kg (1400 — 1800 kcal/kg) şi cu un coeficient de infiltraţii de aer fals K_{inf} = 0,5 — 0,6 (m^3 aer fals/m^3 gaze aspirate din focar):

— debit maxim de cărbune măcinat (moară nouă) 44 t/h
— debit mediu de cărbune măcinat (la uzura medie a morii, după 600—700 ore de funcţionare) 37 t/h
— fineţea de măcinare a prafului $R_{1\,000}$ 2—2,6%
R_{90} 50—60%
— debitul de fluid ventilat (la uzura medie a morii, concentrator de praf cu paletele în poz. 20° şi clapeta mobilă la separator în poz. 40°) 30 m^3/s
— temperatura la separator (la sarcina maximă) 90—110°C
— durata unui ciclu de funcţionare între două înlocuiri ale paletelor rotorului 1200—1300 ore

Măsurătorile şi calculele efectuate au pus în evidenţă că există încă disponibilităţi de debit ale morii reconstruite cu rotor cilindric, care pot fi puse în valoare prin îmbunătăţirea stării de etanşeitate a întregului sistem de preparare a prafului (fig. 6).

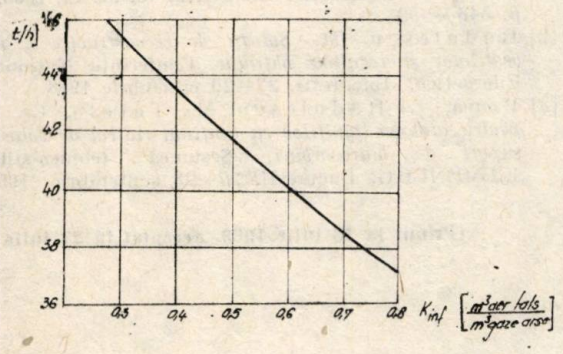


Fig. 6. Variaţia debitului de cărbune măcinat, funcţie de gradul de etanşeitate al morii.

Rezultatele măsurătorilor de performanţă efectuate la funcţionarea cazanului echipat cu mori cu rotor cilindric reconstruite, la sarcină minimă, fără adaos de hidrocarburi pentru stabilizarea arderii şi la sarcina maximă, sînt prezentate în tabelul 3. În scopul realizării sarcinii maxime a cazanului a fost necesară modificarea ventilatoarelor de gaze de ardere pentru îmbunătăţirea parametrilor lor de funcţionare, conform unei soluţii elaborate de ICSITEE-Bucureşti. Măsurătorile efectuate au arătat că se realizează temperatura aburului viu de 540°C în domeniul de sarcini uzuale şi ca atare nu sînt necesare modificări la partea sub presiune a cazanului.

Tabelul 3

Rezultatele măsurătorilor de performanţă la cazanul echipat cu mori ventilator reconstruite cu rotor cilindric şi concentratoare de praf

Rezultate experimentale	Sarcina termică a cazanului	
	65%	98%
Debitul de abur viu, t/h	236	332
Presiunea aburului viu, bar	123	125
Temperatura aburului viu, °C	535	542
Temperatura apei de alimentare, °C	210	204
Excesul de aerde ardere		
— înaintea PA —	1,84	1,28
— după PA —	2,02	1,40
Calitatea cărbunelui — Q_i^i, MJ/kg	6,46	7,27
(kcal/kg)	(1542)	(1736)
— W_t^i, %	39,3	42,2
— A^i, %	29,3	23,1
Temperatura aerului la intrare PA, °C	54	53
Temperatura gazelor de ardere după PA, °C	212	191
Conţinutul de nearse în zgură, %	21,8	20,1
Conţinutul de nearse în cenuşă, %	1,3	1,4
Pierderi prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic, %	5,86	5,31
din care: — în zgură, %	4,30	4,06
— în cenuşă, %	1,56	1,25
Numărul de mori în funcţiune	5	5
Aport caloric de gaze combustibile pentru stabilizarea arderii, %	0	0

Temperaturile relativ ridicate ale gazelor de ardere evacuate din cazan sînt consecinţa unui debit redus de aer de ardere introdus prin preîncălzitorul de aer, situaţie datorată în special infiltraţiilor crescute de aer fals în sistemele de preparare a prafului şi în focar.

Pierderile procentuale de căldură prin ardere incompletă din punct de vedere mecanic s-au situat la valori ridicate (5,31—5,86%), deşi conţinutul de nearse în zgură şi cenuşă a avut valori acceptabile. Valori mari au avut în special pierderile procentuale de căldură cu nearsele conţinute în zgură (4,06—4,3%), ca urmare a gradului mare de separare al focarului, consecinţă a construcţiei sale cu flacără în formă de U. Pentru reducerea acestor pierderi se impune analiza posibilităţii de introducere a unui grătar postardere rulant, dimensionat corespunzător, cu modificarea pîlniei reci a focarului.

La funcţionarea cazanului la sarcini apropiate de sarcina nominală, cu cărbune la limita superioară a benzii de calitate, s-a constatat o tendinţă mică de apariţie a fenomenului de zgurificare a focarului, care însă nu s-a dovedit periculos. Acest lucru se datorează, desigur, valorii mari a încărcării termice specifice de suprafaţă pe brîul de arzătoare de 2,02 MW/m² (vezi tabelul 1), faţă de valoarea recomandată [1, 3] de 1,16 MW/m² pentru acest tip de cazan, la arderea lignitilor din ţara noastră.

Experienţa de exploatare a cazanului de 370 t/h cu instalaţia de măcinare şi ardere modernizată cu mori cu rotor cilindric-proiect ICEMENERG, concentratoare de praf şi arzătoare de praf-proiect Tehenergo-Sofia a arătat o disponibilitate corespunzătoare, cu următoarele observaţii:

— morile cu rotor cilindric reconstruit au avut o comportare bună, o uzură normală a elementelor de măcinare, lucrări de întreţinere şi reparaţii de volum mai mic şi o siguranţă de funcţionare crescută faţă de morile cu rotor tronconic. În funcţionarea de durată s-a constatat însă o uzură mare a clapetelor mobile de la separatoarele morilor şi deformaţii mari ale acestor clapete ca urmare a izbirii lor de corpuri metalice pătrunse în moară odată cu cărbunele, ceea ce afectează performanţele morii; pentru înlăturarea acestui neajuns se experimentează funcţionarea separatorului morii fără clapete;

— concentratoarele de praf au avut o comportare bună şi uzură normală; nu au apărut depuneri în canalele de praf şi arzătoarele de praf. S-a constatat totuşi blocarea sistemelor de acţionare a paletelor pentru reglarea unghiului de înclinare a acestora, ceea ce a dus la renunţarea acţionării de la distanţă şi fixarea paletelor la înclinarea stabilită;

— la arzătoarele de praf au apărut deteriorări ca urmare a arderii lor, în special la morile oprite; măsurătorile de temperatură a părţii metalice a arzătoarelor supusă radiaţiei au arătat că deteriorarea lor poate fi prevenită prin asigurarea unui debit minim de aer secundar pentru răcirea arzătoarelor oprite. În acest scop este necesar să se îmbunătăţească starea de etanşeitate a instalaţiei de preparare a prafului şi a cazanului, astfel încît infiltraţiile de aer fals să fie cît mai mici, pentru asigurarea insuflării permanente a debitului de aer minim necesar răcirii prin arzătoarele morilor oprite.

Concluzii

Cazanul de abur de 370 t/h cu instalaţia modernizată de măcinare şi ardere a lignitului (mori cu rotor cilindric-proiect ICEMENERG, concentratoare de praf şi arzătoare de praf-proiect Tehenergo-Sofia) funcţionează în domeniul de sarcini 65—100% fără adaos de hidrocarburi pentru stabilizarea arderii.

Moara ventilator reconstruită cu rotor cilindric asigură un debit mediu de cărbune măcinat de 37 t/h pe ciclul de funcţionare de 1200—1300 ore, cu o fineţe de măcinare a prafului caracterizată de $R_{1000} = 2 - 2{,}6\%$, $R_{90} = 50 - 60\%$.

Rezultatele bune obţinute în exploatarea cazanului cu instalaţia de măcinare şi ardere modernizată recomandă extinderea soluţiilor experimentate şi la celelalte cazane de 330/370 t/h din CET Işalniţa.

Bibliografie

[1] Rădulescu, M. *Direcţii de cercetare şi rezultatele obţinute privind perfecţionarea tehnologiilor de ardere a lignitului şi reducerea consumului de hidrocarburi suport de flacără la cazanele cu funcţionare pe lignit din centralele electrice din R.S.R.* În: Energetica, 33, nr. 12, 1985, p. 546 — 533.

[2] Rădulescu, M. *Soluţii de reconstrucţie a morilor ventilator şi rezultate obţinute.* Conferinţa Naţională de Energetică, Bucureşti, 27—29 octombrie 1988.

[3] Popa, T., Rădulescu, M., Totolo, Cr. *Focare pentru arderea lignitilor cu conţinut ridicat de balast, fără suport de hidrocarburi.* Sesiunea tehnico-ştiinţifică ICEMENERG, Bucureşti, 27—28 septembrie 1985.

(Primit la 13 iulie 1989, acceptat la 27 iulie 1989)

Valorificarea micropotențialului hidroenergetic în contextul crizei energetice mondiale

Ing. VALENTIN GEORGIAN, ing. PETRU DAN LAZĂR *

Descriptori: criză energetică, surse noi și regenerabile, microhidrocentrale, parametri caracteristici

În baza rezultatelor cercetărilor și datelor recente, lucrarea prezintă aspecte concrete ale actualei crize energetice mondiale raportate la decalajul existent între ritmul de consum a zăcămintelor cunoscute și preocuparea pentru detectarea și introducerea în circuitul economic a unor zăcăminte și surse energetice noi.

Acțiunea de punere în valoare a energiei hidraulice a micilor cursuri de apă se înscrie în contextul acestor preocupări majore, atît pentru satisfacerea directă a necesităților unor zone, obiective sau consumatori izolați nedeserviți din alte surse, cît și pentru alimentarea sistemului energetic local sau național.

Based on recent research results and data the paper brings concrete aspects of the present worldwide energy crisis related to the discrepancy between the known deposits depletion rate and the concerns to detect and introduce in the economic circuit some new deposits and energy sources.

The revaluation of small water courses hydraulic energy ranges itself as an activity within these major concerns, in order to respond directly to the necessities of some areas, objectives or insulated consumers not connected to other sources, but to feed power to the local or national power grid as well.

Introducere

Importanța energiei și afirmarea sa ca factor primordial în determinarea progresului și dezvoltării societății și civilizației umane, constituie în prezent un aspect mult dezbătut pe plan mondial.

Retrospectiva istorică demonstrează că încă de la apariția și evidențierea sa ca ființă rațională omul s-a preocupat permanent, pe măsura evoluției mijloacelor de acțiune, de descoperirea și utilizarea unor izvoare de energie capabile să contribuie la satisfacerea nevoilor și ușurarea condițiilor sale de viață. Astfel, cu trecerea timpului a ajuns să cunoască tot mai multe și mai variate surse de energie pe care să le pună în serviciul său prin procedee și instalații tot mai complexe și mai eficiente.

În zilele noastre, în condițiile afirmării puternice a revoluției tehnico-științifice și social-economice și în condițiile unei explozii demografice mondiale, creșterea continuă și vertiginoasă a necesităților de energie în toate domeniile, înregistrată concomitent cu epuizarea zăcămintelor de combustibili fosili tradiționali (cărbuni, petrol, gaze) a pus civilizația umană față în față cu fenomenul crizei energetice mondiale. Ca să supraviețuiască și să progreseze umanitatea este condiționată de energie, atît ca necesar de resurse și de rezerve utilizabile, cît și ca necesar de consum cotidian.

Aceste aspecte au contribuit la sporirea pe plan internațional, a preocupărilor specialiștilor din toate țările în direcția descoperirii de noi zăcăminte de combustibili tradiționali și de surse noi sau recuperabile și refolosibile de energie, precum și la promovarea unei politici unitare, de largă perspectivă, în vederea folosirii și gospodăririi rationale a resurselor energetice planetare.

1. Orientări, preocupări, perspective

Care sînt șansele noastre în această situație? Fenomenul crizei energetice mondiale constituie oare o falsă alarmă? Fără a putea susține aceasta, în contextul rezultatelor cercetărilor și datelor actuale, care se înscriu la peste 15 ani de la apariția studiului elaborat de Clubul de la Roma prin care s-a tras semnalul de alarmă, sîntem îndreptățiți să afirmăm că, în parte, s-a exagerat, aspectele concrete ale crizei energetice trebuind raportate la decalajul existent între ritmul de consum al zăcămintelor cunoscute și preocuparea pentru detectarea și introducerea în circuitul economic a unor zăcăminte și surse energetice noi.

De asemenea, considerăm necesar să subliniem că, dacă asupra rezervelor și zăcămintelor actuale exploatabile de combustibili tradiționali forurile de specialitate sînt de acord să prognozeze o epuizare totală în următorii maximum 50 de ani, studiile întreprinse la scară mondială în ultimele două decenii atestă că planeta noastră dispune încă de resurse energetice naturale suficiente pentru supraviețuirea și dezvoltarea în continuare a civilizației umane. Dacă se are în vedere și faptul că pînă în prezent numai jumătate din suprafața Terrei a fost prospectată, pe baza valorilor sigure evaluate și probabile, care se vehiculează în cercurile de specialitate, ne putem aștepta

* Ing. Valentin Georgian — Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice, București, ing. Petru Dan Lazăr — Trustul Antrepriză Generală de Construcții Hidroenergetice, București.

la descoperirea și valorificarea unor noi zăcăminte care să înlăture teama dispariției combustibililor fosili.

La acestea, pentru întregirea imaginii, trebuie să mai adăugăm și energia hidraulică a cursurilor de apă, a mareelor, a curenților marini și a valurilor, care prezintă și avantajul regenerabilității și care este departe de a fi valorificată integral. In sprijinul acestei afirmații ne vom mărgini să prezentăm în tabelul 1, după datele organismelor de specialitate ale O.N.U., repartizarea și gradul de utilizare, în prezent, a potențialului hidraulic mondial [1].

Tabelul 1

Potențialul hidraulic mondial (în miliarde MWh)

Zona geografică sau țara	Teoretic	Tehnic amenajabil	În exploatare	În construcție	Prevăzut
Africa	10,118	3,140	0,151	0,047	0,201
America de Nord	6,150	3,120	1,129	0,303	0,342
America Latină	5,670	3,780	0,299	0,355	0,809
Asia (fără URSS și R. P. Chineză)	16,486	5,340	0,465	0,080	0,368
R. P. Chineză	6,000	1,900	0,050	0,051	—
Australia	1,500	0,390	0,059	0,020	0,032
Europa	4,360	1,430	0,842	0,094	0,197
U.R.S.S.	3,940	2,190	0,265	0,191	0,170
TOTAL	54,224	21,290	3,260	1,141	2,119

Din examinarea datelor rezultă clar că, dacă în unele zone ale planetei (S.U.A., Canada, Japonia) procentele de valorificare a hidroenergiei sînt la limita sau aproape de limita maximă, în alte zone (Europa, Africa) acestea coboară la 60% și respectiv la 5%.

În ceea ce privește energia nucleară, deși întîmpinată în unele țări cu proteste violente, utilizarea ei a înregistrat în ultimul deceniu progrese remarcabile. Potrivit unui comunicat recent al Agenției Internaționale pentru Energia Atomică (A.I.E.A.), în anul 1988 energia nucleară a reprezentat 16% din totalul producției mondiale de electricitate, în anumite țări situîndu-se între 50% și 70%. În prezent sînt în funcțiune circa 430 de centrale nucleare în aproape 30 de state ale lumii, cu o putere totală instalată în jur de 310 000 MW, urmînd ca pînă la sfîrșitul anului 1990 aceasta să crească la peste 325 000 MW. Cele mai multe centrale electrice nucleare funcționează în S.U.A. (108), U.R.S.S. (56), Franța (55), Marea Britanie (40), Japonia (38) și R.F. Germania (23). Se prognozează că energia furnizată pe cale nucleară la sfîrșitul acestui secol va reprezenta un sfert din necesarul de energie al lumii.

În sfîrșit, la cele expuse considerăm că mai trebuie adăugat, ca rezultat firesc al progresului tehnic și al procesului de cercetare în curs de desfășurare într-un ritm din ce în ce mai accelerat, atît potențialul unor noi surse de energie (solară, eoliană, biogaz etc.), cît și potențialul care se va obține prin punerea la punct a procedeelor de recuperare a unor procente din energiile consumate în diverse procese tehnologice [2]. În tabelul 2 este ilustrată

Tabelul 2

Ponderea surselor de energie noi și regenerabile în bilanțul energetic mondial

Zona geografică sau țara	Procent din total [%]	Cantitatea de energie [miliarde kWh]
America de Nord	7	1 700
Europa occidentală	10	1 400
Japonia, Noua Zeelandă, Australia	10	500
Țările socialiste europene	6	1 000
R. P. Chineză și țările cu economie planificată din Asia	40	2 900
Țările membre OPEC	20	1 000
Țările în curs de dezvoltare care nu sînt membre OPEC (America Latină, Orientul Mijlociu, Africa, Asia)	40	4 700
TOTAL	15	13 200

importanța și ponderea energiilor noi și regenerabile în bilanțul energetic mondial [3], energii intrate de curînd în competiție ca urmare firească a creșterii prețului petrolului, a plafonării consumului de combustibil și a menținerii importurilor la o cotă limită. Cu cît formele primare de energie vor deveni tot mai rare și mai scumpe, cu atît mai mult panoplia de surse energetice pare că se va îmbogăți.

Dacă la nivelul organismelor mondiale alarma și implicațiile crizei energetice și-au găsit reflectarea în acțiunile de studii și cercetare științifică și tehnologică întreprinse, la nivelul diferitelor state și guverne s-a înregistrat o preocupare susținută pentru stabilirea și promovarea unor sarcini, programe și strategii complexe vizînd creșterea aportului energeticii proprii, concomitent cu reducerea, în principal prin revederea și reconsiderarea proceselor tehnologice, a consumurilor de combustibili și de energie în toate domeniile de activitate.

În acest context, o importanță deosebită a fost acordată problemei valorificării integrale a potențialurilor hidroenergetice naționale, pe baza unor noi impulsuri și orientări. Este cunoscut faptul că în cadrul fiecărei țări rețeaua hidrografică, asociată condițiilor geomorfologice existente, oferă un număr strict limitat de cursuri de apă și de amplasamente favorabile realizării unor mari amenajări hidroenergetice. Statistica mondială arată că și aceste posibilități au fost, în marea lor majoritate, folosite

și se întrevede completa lor epuizare pînă la sfîrșitul acestui secol.

În rest, în proporție de circa 80%, rețeaua hidrografică a oricărei țări este reprezentată prin cele mai elementare componente ale sale: pîraiele și micile cursuri de apă care colectează bazine hidrografice reduse și care, deși dispun de un potențial energetic important, rămîn improprii unor mari amenajări. Se impune polarizarea interesului specialiștilor asupra acestei categorii de cursuri de apă cu atît mai mult cu cît, în condițiile tendințelor actuale de economisire și protejare a suprafețelor de pămînt productive și a greutăților cu care se confruntă statele în curs de dezvoltare, luarea unei decizii devine dificilă. Mai explicit, repercusiunile pe care implantarea unor mari amenajări le are asupra mediului înconjurător sau imposibilitatea finanțării unor asemenea obiective, în cazul unor bugete naționale limitate și dispersate pentru multiple alte necesități stringente, pot conduce la nerealizarea lor, cu atragerea ulterioară a tuturor consecințelor care decurg pentru economia statului respectiv.

În aceste condiții, în ultima perioadă a revenit în actualitate, pe plan mondial, acțiunea de punere în valoare a energiei hidraulice a cursurilor mici de apă prin construirea de microhidrocentrale, care a constituit de fapt etapa de început a utilizării energiei hidraulice pentru producerea de electricitate. Ideea, din ce în ce mai larg acceptată, este avută în vedere atît pentru satisfacerea directă a necesităților unor zone, obiective sau consumatori izolați, nedeserviți din alte surse, cît și pentru alimentarea sistemului energetic local sau național [4].

2. Scurt istoric al valorificării micropotențialului hidroenergetic. reorientări, propuneri de definire și clasificare

Din punct de vedere istoric, construcția microhidrocentralelor pare să fi început pe la sfîrșitul secolului trecut, prima realizată și dată în exploatare fiind cea din statul Wisconsin (S.U.A.) în anul 1882, cu o putere instalată de circa 200 kW, pentru deservirea necesităților industriei locale.

Odată cu începutul secolului al XX-lea, urmărind în general dezvoltarea industrială, construcția microhidrocentralelor cunoaște un avînt remarcabil, cu toate numeroasele dezafectări determinate de viabilitatea redusă a lucrărilor propriu-zise și a echipamentelor, precum și de concurența marilor termo și hidrocentrale, care polarizează tot mai mult atenția specialiștilor. De exemplu, din datele cuprinse într-un studiu documentar publicat la Praga în anul 1984, rezultă că în ultimii 50 de ani în Norvegia au fost scoase din funcțiune peste 1 000, iar în S.U.A., în intervalul 1930—1970, peste 3 000 de microhidrocentrale. Cu toate acestea, pe la jumătatea secolului nostru se aflau în exploatare peste 1 000 de asemena obiective numai în America de Nord, Europa și Asia.

Interesul mare manifestat pentru realizarea unor noi obiective termo și hidroenergetice gigant a contribuit, începînd cu jumătatea deceniului al 5-lea și pînă spre jumătatea deceniului al 7-lea, la înregistrarea unei perioade de regres în construcția de microhidrocentrale și restrîngerea ariei acestor preocupări la o serie de țări europene (Austria, Elveția, R.F. Germania) care ofereau particularități geografice și social-economice specifice.

În prezent, cercetarea amplă, efectuată la nivel internațional asupra posibilităților și avantajelor pe care le oferă microhidrocentralele, așa cum rezultă și din concluziile rapoartelor de specialitate date publicității, pledează în favoarea relansării acestei categorii de lucrări hidroenergetice. Se mai pot evidenția suplimentar următoarele argumente:

- constituie un procedeu simplu de creștere a gradului de valorificare a potențialului hidroenergetic;
- se pretează a fi tipizate, atît ca parte de construcție, cît și ca parte de echipament;
- pot fi realizate cu materiale locale, cu utilizarea de mînă de lucru necalificată sau cu calificare redusă, în condițiile unor tehnologii și dotări tehnice simple;
- permit o exploatare ușoară, eventual cu introducerea unor sisteme de automatizare, transmitere și comandă de la distanță, supravegherea, întreținerea și reparațiile periodice efectuîndu-se prin unități mobile de tip „service";
- se pot realiza atît independente, cît și „altoite" pe obiectele unei investiții existente (conducte de alimentare cu apă, puțuri de încărcare a aducțiunilor subterane etc.), permițînd astfel valorificarea căderilor dintre acestea. De menționat că, în al doilea caz, valoarea de investiție a obiectivului scade cu pînă la 50%, comparativ cu varianta de amenajare independentă, fapt explicabil prin aceea că o parte din cheltuieli, cum ar fi cele pentru amenajarea acceselor, protecția mediului, ocuparea terenurilor, organizarea de șantier etc., sînt deja, din punctul de vedere al microhidrocentralei, acoperite și amortizate;
- în varianta funcționării racordate la Sistemul Energetic Național microhidrocentralele oferă, în majoritatea cazurilor, avantajul alimentării rețelei prin racorduri de lungime redusă în imediata apropiere a consumatorilor;
- în varianta funcționării independente (neracordate la sistem) pentru alimentarea directă a unor consumatori, microhidrocentralele elimină complet transportul la

distanță al energiei, contribuind atît la degrevarea sistemului, cît și la crearea unei autonomii energetice locale. Mai trebuie adăugat faptul că microhidrocentralele, fiind unități de care beneficiază direct și total o anumită comunitate sau un număr restrîns de obiective, finanțarea, realizarea și exploatarea lor este preluată de acestea, ceea ce contribuie la neafectarea bugetului central, precum și la livrarea energiei produse la un preț de cost cu pînă la 50% mai mic decît al electricității furnizate de marile centrale;
— nu provoacă perturbări flagrante ale echilibrului natural, inundarea și dezafectarea de terenuri sau alte obiective, nu perturbă microclimatul din zona amplasamentului;
— favorizează micșorarea eroziunii solului;
— în sfîrșit, microhidrocentralele favorizează rezolvarea problemei electrificării rurale și deservirea cu energie a consumatorilor izolați, cu grad mare de dispersie în teritoriu.

Epuizînd enumerarea aspectelor cu caracter general, considerăm util să comentăm cîteva criterii de evaluare calitativă a noțiunii de microhidrocentrală.

Cu toate preocupările și importanța crescîndă care se acordă acestei probleme, pînă în prezent nu s-a ajuns la un consens pe plan internațional asupra unui procedeu unitar de definire și clasificare a microhidrocentralelor, numărul mare de clasificări utilizate fiind generat de condițiile diferite și de nivelul diferit de dezvoltare a diverselor state, de particularitățile licențelor folosite și de volumul capitalului și investițiilor aflate în circulație.

În majoritatea țărilor, principalul indicator calitativ, pentru centralele care valorifică energia hidraulică a micilor cursuri de apă, se consideră puterea instalată. Din acest punct de vedere, puterea limită superioară variază de la 5 MW în Austria, Spania, India, Franța, R.F. Germania și Canada, la 1,00—1,50 MW în Italia, Norvegia, Suedia, Elveția și Venezuela sau 50 MW în Noua Zeelandă.

În general, granița puterilor limită minimă și maximă pentru aceste obiective este vag definită, în literatura de specialitate întîlnindu-se în mod curent trei grupe de clasificări:
— microhidrocentrale, cu puteri instalate de pînă 50 — 70 kW;
— minihidrocentrale, cu puteri instalate care variază de la 70 — 100 kW la 500 — 1 000 kW;
— centrale hidroelectrice mici, cu puteri instalate care variază de la 0,50 — 1,00 MW la 5 — 15 MW.

În Noua Zeelandă limitele sînt mai ferme:
— microhidrocentrale, cu puteri instalate de pînă la 1 MW;
— minihidrocentrale, cu puteri instalate cuprinse între 1 MW și 10 MW;
— centrale hidroelectrice mici cu puteri instalate cuprinse între 10MW și 50 MW.

Mai recent, în conformitate cu datele conținute în publicațiile de specialitate ale O.N.U., pentru utilizare în practica mondială se propune următoarea clasificare:
— microhidrocentrale, cu puteri instalate cuprinse între 20 kW și 50 kW;
— minihidrocentrale, cu puteri instalate cuprinse între 200 kW și 1000 kW;
— centrale hidroelectrice de mică putere, cu puteri instalate cuprinse între 1 MW și 10 MW.

Cercetările cele mai avansate în direcția cunoașterii posibilităților pe care le pot oferi microhidrocentralele și stabilirii unor programe de perspectivă au fost efectuate pe continentul nord-american de S.U.A. În contextul condițiilor natural-economice existente în regiunile nord-estice ale acestei țări, parametrii caracteristici cei mai eficienți, adoptați pentru definirea microhidrocentralelor, au avut în vedere baraje cu înălțimi cuprinse între 10 m și 20 m, capacități de acumulare de 2,50 — 18,00 milioane m^3 de apă și puteri instalate de 5 — 15 MW.

Pornind de la considerente oarecum similare, în U.R.S.S. noțiunea de microhidrocentrală sau centrală hidroelectrică de mică putere este raportată la obiective cu puteri instalate pînă la 30 MW amplasate pe „rîuri mici" definite printr-un debit mediu anual de 5 — 50 m^3/s și o lungime de 10 — 100 km. Obiectivele cu puteri foarte mici (< 0,40 MW) realizate pentru consumatori izolați cu necesități modeste au fost denumite „micro UHE", fiind studiate și rezolvate separat.

Prin urmare, amenajarea de mici centrale hidroelectrice revine în actualitate într-un moment în care necesitatea valorificării complete, fără pierderi, a tuturor surselor și rezervelor de energie cunoscute, inclusiv a celor refolosibile și regenerabile neconvenționale, aduce în prim plan și interesul pentru valorificarea integrală a potențialelor hidroenergetice naționale.

Bibliografie

[1] * * * *World Economic Resources 1985—2000*. New York, Conference mondiale de l'énergie, Science and Technology Press, 1978.
[2] Iulian, C., Lazăr, D. P. *Energia valurilor — captare și conversie*. Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1982.
[3] * * * Conference mondiale de l'énergie, Survey of Energy Resources, 1980.
[4] Georgian, V., Lazăr, D. P. *Scheme și soluții de valorificare a microhidropotențialului energetic al țării noastre*. Comunicare la sesiunea „Utilizarea rațională și eficientă a resurselor energetice ale țării", București, 6—8 decembrie 1984.

(Primit la 18 iulie 1989, acceptat la 10 august 1989)

Considerații privind normarea limitelor regimului dezechilibrat în sistemele electroenergetice

Dr. ing. TRAIAN-G. IONESCU, dr. ing. EUGENIU PAVEL *

Descriptori: regimuri nesimetrice, regimuri dezechilibrate, sisteme electroenergetice

În articol se prezintă cîteva aspecte teoretice și practice legate de nesimetria tensiunilor și curenților în sistemele electroenergetice, ca factor poluant cu efecte negative asupra calității energiei electrice, precum și creșterea consumurilor proprii tehnologice în rețelele electrice datorate regimurilor dezechilibrate.

Sînt prezentate cîteva propuneri pentru adoptarea unor limite ale acestor nesimetrii și dezechilibre, astfel încît să se producă cît mai puține perturbări în sistemul electroenergetic și să se afecteze cît mai puțin eficiența economică.

Pentru a clarifica noțiunile folosite sînt date cîteva definiții.

Some theoretical and practical aspects connected to power grids voltages and currents non-symmetry are presented. The non-symmetry is considered as a polluting factor with negative impact on the electric power quality as well as the technological eigenconsumption increase in electric grids due to unbalanced regimes.

Some proposals for adopting some limits of these non-symmetries and unbalances are presented. They are meant to decrease the power grid disturbances to a small number and to impel as little as possible on the economic efficiency.

Some definitions are given in order to clarify the used terms.

1. Generalități

1.1. Considerații generale privind regimul dezechilibrat

1.1.1. Producerea regimului dezechilibrat

Sistemele trifazate au fost concepute pentru a funcționa în regimuri echilibrate. În astfel de regimuri, atît generatoarele electrice, receptoarele, cît și liniile electrice care le leagă se pot considera practic echilibrate, astfel ca parametrii lor de circuit pe fază, de exemplu, impedanțele ,să fie egale. În condiții de simetrie, gestiunea puterilor și a energiilor electrice, ameliorarea factorului de putere etc. se modelează în scheme monofazate. De îndată ce cel puțin unul din elementele rețelei se dezechilibrează adică prezintă parametri de circuit diferiți pe diferite faze, sistemele de tensiuni și de curenți devin nesimetrice și ca urmare apar pierderi suplimentare în întreg sistemul electroenergetic.

O primă cauză de dezechilibru poate proveni din rețeaua propriu-zisă, datorită dispoziției spațiale nesimetrice a conductoarelor liniilor electrice aeriene, care are ca urmare o diferență de valori a impedanțelor diferitelor faze ale rețelei. O simplă transpunere din loc în loc a conductoarelor liniilor aeriene permite să se micșoreze acest dezechilibru.

Cauza principală a dezechilibrelor regimului rețelelor electrice provine din alimentarea receptoarelor, ele însele dezechilibrate, care, în majoritatea cazurilor, sînt sarcini monofazate racordate între două faze ale rețelei sau între o fază și nul. Regimul dezechilibrat se datorește deci, în principal, prezenței sarcinilor monofazate racordate la o rețea electrică, dacă se exceptează dezechilibrele accidentale provocate de defectele din rețea.

Multe din sarcinile dezechilibrate sînt provenite de la consumatorii casnici și social-culturali racordați la rețeaua de joasă tensiune și sînt de puteri relativ mici (de la cîțiva zeci de watti pînă la 5 — 10 kW), cu utilizare aleatoare. Aceste sarcini, racordate între o fază și neutru, provoacă o circulație de curenți de secvență directă, inversă și homopolară (în rețelele cu conductor neutru).

Majoritatea motoarelor electrice trifazate au neutrul izolat sau înfășurările sînt legate în triunghi și ca urmare componentele homopolare ale curenților sînt nule.

Mulți consumatori monofazați de puteri mari sînt racordați la rețele electrice de medie tensiune sau înaltă tensiune, ca de exemplu, instalații de sudură (de puteri cuprinse între 100 kVA și 3 MW), de cuptoare electrice speciale, monofazate, de stații pentru tracțiunea electrică etc. Acești consumatori fiind întotdeauna racordați între două faze ale rețelei electrice generează circulații de curent de componentă simetrică inversă și implicit antrenează apariția de tensiuni de componentă inversă în diverse puncte ale rețelei.

Dezechilibrul astfel introdus în rețea prin alimentarea unor impedanțe neechilibrate poate fi constant și permanent ca în cazul unui cuptor cu arc. Fluctuațiile aleatoare produc fenomene de flicker.

* Dr. ing. Traian G. Ionescu — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București, dr. ing. Eugeniu Pavel — Institutul Central de Cercetări Energetice, București.

1.1.2. Efectele regimului dezechilibrat

Efectele cele mai defavorabile ale nesimetriei tensiunilor din rețelele electrice constau din încălzirile datorate pierderilor suplimentare în mașinile electrice rotative de curent alternativ trifazat, din cauza circulațiilor suplimentare în aceste mașini a componentelor inverse (și homopolare acolo unde este cazul) de curent, care uneori nu sînt neglijabile.

Nesimetria tensiunilor produce în mașinile electrice rotative cupluri inverse de frînare parazite periodice nesinusoidale și, în consecință, vibrații care se accentuează în cazul dezechilibrelor fluctuante.

În afară de acestea, nesimetria curenților are ca efect producerea unui consum propriu tehnologic suplimentar în rețele electrice de transport și distribuție cu consecințe negative asupra economicității producerii energiei electrice.

1.2. Limitarea regimului dezechilibrat

Acțiunea de limitare a regimului dezechilibrat produs în sistemul electroenergetic trebuie să înceapă, evident, prin cunoașterea stării existente. O asemenea stare de dezechilibru poate fi caracterizată prin parametri raportați la nivelurile limită admise și prin influența regimului dezechilibrat asupra consumului propriu tehnologic în rețele.

Următorul pas trebuie să se refere la măsurile necesare pentru limitarea unui asemenea regim de funcționare. Apare ca necesară elaborarea unui normativ care să fie folosit la proiectarea instalațiilor care cuprind consumatori și receptoare dezechilibrate, normativ care să stabilească limitele admisibile și să sugereze măsurile de simetrizare necesare.

Este evident că realizarea instalațiilor de simetrizare se justifică numai dacă economia de energie electrică realizată în sistemul electroenergetic este mai mare decît energia electrică consumată în instalația de simetrizare.

De asemenea, este necesar ca în afară de prevederile unui asemenea normativ să se țină seama și de prevederile din prescripțiile și normativele tehnice în vigoare și de standardele și normele interne de fabricație ale furnizorului de echipamente și instalații.

2. Noțiuni și definiții

2.1. Definiții

În scopul întocmirii unui astfel de normativ se propune utilizarea următoarelor noțiuni și definiții:

Metoda componentelor simetrice se bazează pe descompunerea sistemelor de mărimi armonice trifazate nesimetrice (tensiuni electromotoare, curenți etc.) în trei sisteme de componente simetrice (direct, invers și homopolar) și pe principiul suprapunerii efectelor (teorema lui Fortescue). Această metodă se poate aplica numai circuitelor liniare sau practic liniare.

În studiul sistemelor trifazate dezechilibrate se va utiliza metoda componentelor simetrice. Astfel, calculul unui regim al unei scheme trifazate nesimetrice se reduce la calculul regimurilor celor trei scheme simetrice (corespunzătoare cîte unuia dintre cele trei sisteme de componente simetrice).

Prin extensiunea teoremei lui Fortescue, metoda componentelor simetrice se poate aplica și la sisteme de vectori cu simetrie geometrică. În acest caz, componenta care are elementele egale (modul și argument) se numește componentă echilibrată.

Componentele care au modulele egale, iar decalajul dintre faze $\frac{2\pi}{3}$ (formînd grupuri de vectori trisimetrici) se numesc componente dezechilibrate simetrice. Dacă succesiunea vectorilor reprezentativi este în sensul R, S, T, dezechilibrul se numește simetric , ad dextram. Dacă succesiunea vectorilor reprezentativi este invers secvenței R, S, T, dezechilibrul se numește simetric, ad laevam.

Receptor trifazat echilibrat se numește receptorul trifazat care admite o schemă echivalentă în stea, cu impedanțele complexe egale în cele trei ramuri ale stelei. Receptorul poate avea numai cele trei borne de fază (R, S, T), sau poate avea și o a patra bornă (N) — nodul comun laturilor stelei echivalente, numit punctul neutru al receptorului.

Un receptor cu conexiune în triunghi și impedanțe complexe egale, în laturile triunghiului, este de asemenea echilibrat, deoarece în baza teoremei transfigurării admite schema echivalentă în stea cu impedanțe egale.

Receptor trifazat dezechilibrat receptor care nu îndeplinește condițiile de mai sus. În acest caz, sistemul de impedanțe al schemei echivalente în stea, se poate descompune în componente simetrice de calcul, astfel:

$\underline{Z}_E = \frac{1}{3}(\underline{Z}_R + \underline{Z}_S + \underline{Z}_T)$ (componenta echilibrată),

$\underline{Z}_D$ — componenta dezechilibrată,

din care:

$\underline{Z}_{D1} = \frac{1}{3}(\underline{Z}_R + a\underline{Z}_S + a^2\underline{Z}_T)$ (componenta de dezechilibru simetrică ad dextram)

$\underline{Z}_{D2} = \frac{1}{3}(\underline{Z}_R + a^2\underline{Z}_S + a\underline{Z}_T)$ (componenta de dezechilibru simetrică ad laevam)

în care, $a = e^{\frac{-j2\pi}{3}}$ (operatorul lui Stokvis), iar sensul de succesiune a vectorilor dezechilibrați cu simetrie ad dextram fiind considerat echivalent sensului de rotire a acelor de ceasornic.

Expresiile de mai sus se pot scrie sub forma :

$$\underline{Z}_{D_1} = \frac{1}{3}\left[\underline{Z}_R - \frac{\underline{Z}_S + \underline{Z}_T}{2} + j\sqrt{3}\,\frac{\underline{Z}_S - \underline{Z}_T}{2}\right].$$

$$\underline{Z}_{D_2} = \frac{1}{3}\left[\underline{Z}_R - \frac{\underline{Z}_S + \underline{Z}_T}{2} - j\sqrt{3}\,\frac{\underline{Z}_S - \underline{Z}_T}{2}\right].$$

Sistem trifazat simetric direct (de succesiune directă) se numește un ansamblu ordonat de trei mărimi armonice (sinusoidale în timp) de aceeași frecvență ($\underline{A}_R$, $\underline{A}_S$, $\underline{A}_T$), care are module egale și diferențe relative de argument egale cu $\frac{2\pi}{3}$, astfel că mărimea $\underline{A}_S$ este în urma mărimii $\underline{A}_R$, iar mărimea $\underline{A}_T$ este în urma mărimii $\underline{A}_S$.

Sistem trifazat simetric invers (de succesiune inversă) se numește un ansamblu ordonat de trei mărimi armonice (sinusoidale în timp), de aceeași frecvență ($\underline{A}_R$, $\underline{A}_S$, $\underline{A}_T$), care are module egale și diferențe relative de argument egale cu $\frac{2\pi}{3}$, astfel că mărimea $\underline{A}_S$ este înaintea mărimii $\underline{A}_R$, iar mărimea $\underline{A}_T$ este înaintea mărimii $\underline{A}_S$.

Sistem trifazat homopolar se numește un ansamblu de trei mărimi armonice (sinusoidale în timp), de aceeași frecvență ($\underline{A}_R$, $\underline{A}_S$, $\underline{A}_T$), care are modulele egale și diferențe relative de argument nule.

Definițiile prezentate sînt valabile pentru orice astfel de mărimi armonice : tensiuni la borne, curenți etc.

Termenii *simetric* și *nesimetric* se referă la sistemele trifazate de mărimi armonice (tensiuni, curenți etc.) reprezentabile prin vectori care se pot descompune în componente simetrice, sau la sisteme de vectori cu simetrie sau nesimetrie geometrică.

Termenii *echilibrat* și *dezechilibrat* se referă la elementele trifazate de rețea : receptoare, generatoare, linii electrice etc., adică la sistemele de impedanțe, respectiv, la regimuri de funcționare, care în general nu sînt mărimi armonice.

2.2. Aspectul teoretic al problemei nesimetriilor

Teorema conservării puterilor complexe, active și reactive, permite punerea în evidență a unor fenomene caracteristice de circulație de puteri.

După cum se știe puterile nu sînt mărimi armonice și deci nu pot fi supuse regulilor paragrafului 2.1. Cu toate acestea, în cazul folosirii metodei componentelor simetrice, puterile sînt obținute din modulele curenților și tensiunilor de secvență omonimă. De aceea, putem folosi, simplificînd exprimarea pentru puteri, denumirile de componentă de putere directă, inversă și homopolară.

De exemplu, pentru puterile aparente există relațiile :

$$S_1 = 3E_1 \cdot I_1^*$$
$$S_2 = 3E_2 \cdot I_2^*$$
$$S_0 = 3E_0 \cdot I_0^*$$

Puterea aparentă complexă debitată de un generator (G), puterea transportată de o linie electrică (L) și cea absorbită de un receptor echilibrat (E), exprimată în componentele ei simetrică de secvență homopolară (0), directă (1) și inversă (2) se pot scrie sub o formă generală, astfel :

$$\underline{S}_k = \underline{S}_{0k} + \underline{S}_{1k} + \underline{S}_{2k}, \qquad (1)$$

în care k va lua simbolul G dacă se referă la generator, L dacă se referă la linia de transport, E dacă se referă la receptorul echilibrat și RD dacă se referă la receptorul dezechilibrat[2].

Teoremele conservării puterilor aparente complexe au drept consecințe următoarele relații de conservare :

$$\left.\begin{aligned} \underline{S}_G &= \underline{S}_L + \underline{S}_E + \underline{S}_{RD}; \\ \underline{S}_{\alpha G} &= \underline{S}_{\alpha L} + \underline{S}_{\alpha E} + \underline{S}_{\alpha RD}, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

în care α poate lua semnificațiile 0, 1 și 2.

Din cele de mai sus rezultă conservarea separată a puterilor active P_G și reactive Q_G, expresiile lor avînd aceleași forme ca cele din relația (2).

Se admite că un generator poate fi modelat ca generator ideal și deci tensiunile electromotoare formează un sistem trifazat simetric direct ; ca urmare rezultă că generatorul electric nu poate furniza puteri decît pe componenta directă, adică :

$$\left.\begin{aligned} P_G &= P_{1G}; \quad P_{2G} = P_{0G} = 0; \\ Q_G &= Q_{1G}; \quad Q_{2G} = Q_{0G} = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

În consecință, din relațiile de bilanț mai rezultă :

$$\left.\begin{aligned} P_{0L} + P_{0E} + P_{0RD} &= 0; \\ P_{2L} + P_{2E} + P_{2RD} &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Similar pentru Q.

Aceste relații arată că sursa secundară de putere activă și reactivă pentru componentele inverse și homopolare nu este generatorul

electric, ci unul din elementele pasive care intră în componența sistemului și care nu poate fi altul decît receptorul dezechilibrat (în cazul în care celelalte elemente sînt echilibrate). În consecință, consumatorul dezechilibrat este singurul care, în anumite situații, primește pe componenta directă o putere mai mare decît îi este necesară, din care o parte o reconvertește aparent în puteri de componentă inversă și homopolară pe care le reinjectează în rețeaua electrică de alimentare suplimentînd consumurile proprii tehnologice. În acest caz, receptorul dezechilibrat se comportă similar unui convertizor.

Puterile de nesimetrie debitate de receptorul dezechilibrat vor fi :

$$\left.\begin{aligned} P_{ns} &= P_0 + P_2 = 3U_0 \cdot I_0 \cos\varphi_0 + 3U_2 I_2 \cos\varphi_2 \\ Q_{ns} &= Q_0 + Q_2 = 3U_0 I_0 \sin\varphi_0 + 3U_2 I_2 \sin\varphi_2 \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

căci atît P_{ns}, cît și Q_{ns} sînt mărimi conservative iar tensiunile U sînt tensiuni între faze și nul,

3. Parametrii regimului dezechilibrat. Niveluri limită admise

3.1. Parametrii regimului dezechilibrat

Simetrizarea tensiunilor vizează, în special, calitatea energiei electrice; simetrizarea curenților are drept efect principal scăderea consumurilor proprii tehnologice din rețele.

Se propune ca pentru caracterizarea mărimilor armonice nesimetrice într-un punct al sistemului electroenergetic să se folosească următorii coeficienți :

a — coeficientul de nesimetrie inversă : $k_{ns2} = \dfrac{A_2}{A_1}$;

b — coeficient de nesimetrie homopolară : $k_{ns0} = \dfrac{A_0}{A_1}$;

c — coeficient total de nesimetrie : $k_{ns} = k_{ns2} + k_{ns0}$;

d — raport de nesimetrie : $r_{ns} = \dfrac{A_{min}}{A_{max}}$;

(A_{min} fiind mărimea cea mai mică dintre cele trei faze; A_{max} fiind mărimea cea mai mare dintre cele trei faze);

e — raport diferențial de nesimetrie :

$$r_{nsd} = \frac{A_{max} - A_{min}}{\frac{1}{2}(A_{max} + A_{min})} = 2\frac{1 - r_{ns}}{1 + r_{ns}}, \quad (6)$$

în care A se poate referi fie la tensiuni, în care caz se va nota cu U, fie la curenți, în care caz se va nota cu I.

Rapoartele r_{ns} și r_{nsd} satisfac următoarele relații :

$$r_{ns} \geqslant \frac{1 - k_{ns}}{1 + k_{ns}} \approx 1 - 2k_{ns} \quad (k_{ns} \ll 1) \quad (7)$$

$$r_{nsd} \leqslant 2k_{ns} \cong 1 - r_{ns}. \quad (8)$$

Pentru mărimile geometrice reprezentabile complexe, coeficientul de dezechilibru (mărime complexă) are valoarea :

$$k_{DZ} = \frac{\underline{Z}_D}{\underline{Z}_E}, \quad (9)$$

în care mărimile $\underline{Z}_D$ și $\underline{Z}_E$ au semnificațiile de mai sus.

Parametrii indicați sînt numere complexe, dat fiind că mărimile la care se referă sînt, la rîndul lor, reprezentate prin numere complexe. Pentru simplificare, în unele cazuri practice, acești parametri pot fi considerați ca referindu-se la modulele mărimilor respective (diferențe nule ale argumentelor) și ca atare apar ca numere reale.

Pentru aprecierea efectului de nesimetrie asupra consumului propriu tehnologic introdus suplimentar în rețelele electrice de consumatorii dezechilibrați se propune folosirea chiar a mărimii puterii, respectiv a energiei active și reactive debitate în sistemul electroenergetic de către receptorul (consumatorul) dezechilibrat.

$$\left.\begin{aligned} S_{ns} &= S_0 + S_2 = (P_0 + P_2) + j(Q_0 + Q_2) \\ P_{ns} &= P_0 + P_2 \\ Q_{ns} &= Q_0 + Q_2 \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

mărimile fiind exprimate prin mărimi complexe.

P_1 fiind în esență pozitiv rezultă că semnul părții reale a puterii S_{ns} poate fi interpretat astfel :

— semnul pozitiv arată că receptorul absoarbe putere de nesimetrie din rețeaua electrică de alimentare;

— semnul negativ arată că receptorul generează putere de nesimetrie în rețeaua sistemului electroenergetic.

Se observă că la bornele receptorului se poate defini un coeficient de nesimetrie a puterii aparente sub forma :

$$k_{ns} = k_{ns}^U \cdot k_{ns}^I, \quad (11)$$

în care k_{ns}^U este coeficientul total de nesimetrie de tensiune pe fază, iar k_{ns}^I — coeficientul total de nesimetrie de curent.

3.2. Niveluri limită admise

O rețea electrică se consideră echilibrată (simetrică) dacă nici componenta inversă de tensiune și nici componenta homopolară nu depășește valoarea de 1% din componenta directă, diferența de argumente fiind neglijabilă [13].

În rețelele electrice de joasă tensiune aceste limite pot atinge valoarea de maximum 2% [7].

În cazul în care într-un punct din sistemul electroenergetic se constată, prin măsurători efectuate prin sondaj, că valoarea indicată precedent este depășită, furnizorul de energie electrică va trebui să analizeze următoarele cauze:

a) Dezechilibrul impedanțelor al rețelelor electrice trifazate de transport de înaltă tensiune și de distribuție de medie tensiune, care nu trebuie să depășească valoarea (coeficientul de dezechilibrare):

$$|k_{DZ}| = \frac{|\underline{Z}_D|}{|\underline{Z}_E|} \leqslant 0{,}1, \quad (10\%). \qquad (12)$$

Diferența de argument nu va depăși 10%.

b) Dezechilibrul din rețelele electrice de joasă tensiune provenit din încărcarea neuniformă a fazelor datorită racordurilor monofazate, în care caz, coeficienții de dezechilibru ai impedanțelor nu trebuie să depășească valoarea:

$$|k_{DZ}| \leqslant 0{,}2, \quad (20\%). \qquad (13)$$

c) Dezechilibrul provenit de la consumatorii industriali dezechilibrați, în care caz, coeficienții de dezechilibru vor fi puși de acord cu cei de mai sus.

Tensiunile de alimentare ale motoarelor electrice vor avea următoarele valori, pentru coeficienții de nesimetrie inversă [6, 7, 13]:

$|k_{ns2}| = \frac{U_2}{U_1} \leqslant 1\%$ — pentru o funcționare de lungă durată (sau pentru încercarea motoarelor electrice rotative);

$|k_{ns2}| \leqslant 1{,}5\%$ — pentru o perioadă scurtă de funcționare care nu va trebui să depășească cîteva minute.

În cazuri deosebite în care motoarele electrice rotative trebuie să funcționeze cu o componentă inversă de tensiune de 2% se impun condiții severe la construcția motoarelor electrice; în caz contrar, se afectează durata de viață a acestora [7].

Furnizorii de echipamente electrice trifazate sînt obligați să ia măsuri prin proiectare și realizare, ca acestea să fie astfel simetrizate încît coeficienții de dezechilibrare a impedanțelor aparente de calcul ale schemelor echivalente în stea în tot domeniul de funcționare, să nu fie mai mari de:

$$|k_{DZ}| = \frac{|\underline{Z}_{D1}| + |\underline{Z}_{D2}|}{|\underline{Z}_E|} \leqslant 0{,}001, \quad (0{,}1\%) \quad (14)$$

iar argumentul să nu depășească 10°.

Pentru nesimetria tensiunilor într-un punct oarecare al sistemului electroenergetic, la funcționarea în sarcină, nivelurile limită admise vor fi:

$$k_{ns} = k_{ns2} + k_{ns0} \leqslant 0{,}05, \quad (5\%)$$

$$r_{ns} = 0{,}9, \ (90\%)$$

$$r_{nsd} = 0{,}1, \ (10\%)$$

La funcționarea în gol $k_{ns2} \leqslant 0{,}02$, (2%).

Depășirea limitelor de nesimetrie ale tensiunilor nu reflectă și efectele energetice produse în sistem [3, 4].

Pentru a evidenția efectele energetice ale circulațiilor puterilor de nesimetrie vor trebui montate contoare speciale la consumatorii industriali dezechilibrați, contoare care măsoară circulațiile și energiile de nesimetrie introduse suplimentar în rețelele electrice ale Sistemului Electroenergetic Național de către acești consumatori.

Pînă la montarea aparatelor de măsură, valoarea consumului tehnologic propriu introdus suplimentar de consumatorii industriali cu regimuri dezechilibrate se va face prin calcul, efectuîndu-se în acest scop, prin sondaj, măsurători corespunzătoare.

Creșterile relative ale consumului propriu tehnologic exprimă procentul cu care crește suplimentar acest consum datorită nesimetriilor și se calculează cu ajutorul relațiilor:

$$\varepsilon_P = \frac{\delta P}{\Delta P_0} = \frac{3\underline{U}(\underline{I}_R^2 + \underline{I}_S^2 + \underline{I}_T^2)}{\underline{S}^2} - 1 \qquad (15)$$

$$\varepsilon_Q = \frac{\delta Q}{\Delta Q_0} = \frac{3\underline{U}(\underline{I}_R^2 + \underline{I}_S^2 + \underline{I}_T^2)}{\underline{S}^2} - 1 = \varepsilon_P \qquad (16)$$

în care: $\underline{U} = \frac{1}{3}(\underline{U}_R + \underline{U}_S + \underline{U}_T)$. (17)

Semnificația simbolurilor este următoarea:

$\underline{I}_R, \underline{I}_S, \underline{I}_T$ — valorile efective ale curenților de fază, în A;

$\underline{U}_R, \underline{U}_S, \underline{U}_T$ — valorile tensiunilor de fază, în kV;

P și Q — puterile activă și reactivă trifazate, în MW, respectiv Mvar, măsurate la intrarea către consumator, pe o linie dată;

$\underline{S}$ — puterea aparentă consumată, în MVA;

$\Delta P_0, \Delta Q_0$ — pierderile de putere activă, respectiv reactivă la o sarcină echilibrată (regim simetric);

$\delta P, \delta Q$ — pierderile suplimentare de putere activă, respectiv reactivă în regim nesimetric.

Nu se normează valori limită.

Se propune măsurarea energiei inverse și homopolare care se debitează de către consu-

mator în rețea și, după caz, penalizarea pentru această situație.

4. Măsuri pentru prevenirea și limitarea regimului dezechilibrat

Procedeele de echilibrare a rețelelor trifazate au drept scop simetrizarea regimurilor lor de funcționare atît în ceea ce privește tensiunile, cît și intensitățile curenților.

Soluțiile posibile sînt: simetrizarea pe cale naturală sau instalarea unui dispozitiv de compensare static, fie fix, fie variabil în cazul unei sarcini fluctuante.

4.1. Simetrizarea pe cale naturală

Simetrizarea pe cale naturală presupune încărcarea echilibrată a fazelor cu receptoare monofazate, care să realizeze simetria. Dacă funcționarea acestor receptoare este reciproc independentă, echilibrarea dispare cînd unul dintre receptoare iese din funcțiune sau își schimbă regimul de funcționare din considerente tehnologice. Este cazul cuptoarelor industriale monofazate (de inducție) sau al tracțiunii electrice.

Simetrizarea naturală poate fi eficientă numai acolo unde regimul receptoarelor monofazate este relativ uniform, cum este cazul iluminatului cartierelor de locuințe și străzilor, stadioanelor, halelor industriale etc. Puterile unor asemenea consumatori sînt relativ mici.

4.2. Simetrizarea artificială

Simetrizarea artificială se realizează prin dispozitive specifice, special concepute, care se branșează împreună cu receptoarele monofazate de puteri mari pentru a forma receptoare echivalente echilibrate [5].

Pentru ca pierderile de energie electrică în aceste dispozitive să fie cît mai reduse acestea se realizează cu elemente reactive de circuit.

Cele mai răspîndite instalații de simetrizare sînt:

— schema cu bobine și condensatoare;
— schema cu transformatoare.

Schemele cu bobine și condensatoare se împart în:

— schema de simetrizare a unui receptor monofazat cu o bobină și condensatoare (conexiunea Steinmetz);
— schema de simetrizare cu o bobină;
— schema de simetrizare cu două bobine conectate în triunghi sau în stea.

Dintre schemele cu transformatoare cea mai mare răspîndire o are schema Scott pentru alimentarea unui receptor electric monofazat, respectiv a două receptoare monofazate și schema în V.

Simetrizarea se realizează pentru o anumită frecvență a rețelei, de regulă pentru frecvența nominală de 50 Hz $\pm$ 0,5 Hz și această simetrizare nu este întotdeauna perfectă.

Pentru alegerea instalațiilor de simetrizare se va efectua un calcul tehnico-economic. Realizarea instalațiilor de simetrizare este justificată numai dacă economia de energie electrică obținută în sistemul electroenergetic este mai mare decît energia electrică consumată în instalația de simetrizare.

Concluzii

Dezechilibrul tensiunilor rezultă, în principal, din alimentarea unor sarcini monofazate și produce atît încălzirea suplimentară a mașinilor rotative de curent alternativ, datorate cuplurilor inverse de frînare, cît și vibrațiilor care se accentuează în cazul dezechilibrelor fluctuante.

Dezechilibrul global măsurat într-un nod din rețeaua sistemului electroenergetic rezultă din contribuția ansamblului sarcinilor monofazate alimentate cînd tensiunile de componente inverse produse se compun vectorial. În aceste condiții trebuie să se limiteze coeficientul de nesimetrie (inversă și homopolară) de tensiune la o valoare convenabilă, cînd este vorba de o sarcină monofazată luată individual, și să se stabilească acest coeficient, cînd se referă la o valoare globală dintr-un nod al sistemului electroenergetic.

Este necesar să se fixeze limite acceptabile pentru coeficienții de dezechilibru de tensiune, atît pentru distribuitorul de energie electrică, fabricantul de echipamente, cît și pentru utilizator, acest compromis trebuind să fie realizat pe baza unui calcul tehnico-economic.

Se propune să se limiteze dezechilibrul de tensiune astfel încît nici componenta inversă de tensiune și nici componenta homopolară să nu depășească valoarea de 1%. Aceste valori sînt în concordanță cu Publicația 34—1 a Comitetului Electrotehnic Internațional.

Dezechilibrul curenților are drept efect principal creșterea consumului propriu tehnologic din rețelele electrice. În ceea ce privește normarea puterilor de nesimetrie, active și reactive, valori admisibile propuse au fost fixate pe considerentul importanței care se acordă, în prezent, reducerii consumurilor proprii tehnologice în sistemele electroenergetice.

Prin indicatorii propuși în lucrare, atît în ceea ce privește dezechilibrul tensiunilor, cît și al curenților, s-a căutat să se îmbunătățească calitatea energiei electrice livrate consumatorilor.

Bibliografie

[1] Antoniu, I. S., *Bazele electrotehnicii*. Ed. Didactică și Pedagogică 1970.

[2] Țugulea, A. *Considerații privind efectele energetice în regimurile armonice nesimetrice ale sistemelor trifazate*. În: Energetica, 34, 1986, nr. 3, p. 121—129.

[3] Pavel, E., Ionescu, G.-T. *Efectele consumatorilor nesimetrici asupra rețelelor electrice*. În: Energetica, 34, 1986, nr. 10, p. 457—459.

4] Ionescu, G.-T., Coculescu, S., Neagoe, M., Pavel, E. *Regimul nesimetric generator de consumuri proprii tehnologice suplimentare în rețelele electrice.* În: Energetica, 36, 1988, nr. 9, p. 404—411.
[5] Comșa, D. *Instalații electrice industriale.* Ed. Tehnică, București, 1986.
[6] Bergeal, J., Bonnard, G., Moller, L. *Les deséquilibres de tension* .În: R.G.E. — Franța — 10/85 octombrie, 1985.
[7] Meynaud, P. *Pollution de la tension.* În: R.G.E. — Franța, 89, nr. 9, 1980.
[8] Battaglia, B. *Prise en compte de la qualité de la tension dans les études de reseaux B.T.* În: R.G.E. — nr. 1/84, ianuarie, 1984.
[9] Pierrat, L., Meyer, J. P. *Les taux de déséquilibre, mais c'est très simple.* În: R.G.E. nr. 6, iunie 1987, p. 18—26.
[10] Jelezko, I. S. *Cu privire la perfecționarea normării calității energiei electrice.* În: Elektricestvo, 1987, nr. 4, p. 15—20.
[11] Mamoșin, R. R., Nikiforova, V. N. *Cu privire la perfecționarea normării calității energiei electrice.* În: Elektricestvo, 1987, nr. 4, p. 20—27.
[12] Rosper, R. D., Leedham, P. J. *A review of the causes and effect of distribution system three phase unbalance.* În: Proc. IEE, 1974, p. 83—88.
]13] * * * CEI Publicația 34-I.1983. *Machines électrique tournantes. Caractéristique assignées et caractéristique de fonctionnement.*
[14] * * * Raport de L'UNIPEDE — *Caractéristique de la tension d'alimentation en basse tension.* În: R.G.E, nr. 9, sept. 1981.
[15] * * * GOST-13.109-67. *Norme de calitate a energiei electrice la receptoarele racordate la rețelele electrice de distribuție generală.*
[16] Pavel, E. *Receptoare trifazate dezechilibrate. Caracteristici și particularitățile de funcționare în regimuri stabilizate.* În: Energetica, 36, 1988, nr. 6. pag. 241.

(Primit la 18 iulie 1989, acceptat la 14 noiembrie 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

UTILIZAREA TEHNICII MODERNE DE CALCUL LA EXPLOATĂRI DE CĂRBUNE DIN R.D.G.

În revista „Energieanwendung", 1988, 37, nr. 2, Tesche Johann publică un articol pe această temă, arătînd că din 1980, la marea exploatare de cărbune de la Weltzow-Sud se utilizează, pentru colectarea informațiilor și conducerea proceselor tehnologice, un microprocesor de tip KRS R 4201. Cu ajutorul unui aparat de tip URSADAT U 4010 se prelucrează 150 parametri cifrici și 32 analogici și se transmit 40 semnale de comandă.

În 1986 escavatorul de tip Fs 3150 a fost dotat cu un microcomputer individual de tip URSALOG 5020. Instalațiile moderne de calcul electronic controlează și înregistrează parametrii tehnologici ai agregatelor de bază, orar și pe schimburi, dînd informații privind economicitatea funcționării fiecăruia dintre acestea și indicatorii cei mai importanți ai carierei în ansamblu și comparînd în permanență datele faptice cu cele planificate.

Datorită optimizării lucrărilor geologice, consumul de energie a scăzut cu 560 MWh/an. Utilizarea maximă a capacității dispozitivului de răsturnare micșorează consumul de energie cu încă 495 MWh pe an. Se prevede utilizarea tehnicii de calcul la toate carierele deschise cu o capacitate mai mare de 100 mil. m^3 de steril pe an.

SCURTE ȘTIRI DIN ENERGETICA MONDIALĂ PRIVIND GAZEIFICAREA CĂRBUNILOR

În iulie 1988 a avut loc la Londra a 6-a Conferință internațională în problemele prelucrării cărbunilor, la care s-au prezentat referate privind cercetările consacrate în principal diferitelor scheme tehnologice ale proceselor de prelucrare a cărbunilor.

S-au analizat particularitățile tehnologice și economice ale proceselor de gazeificare a cărbunilor în strat fluidizat și în strat static, precum și scheme ale combinării acestora cu procesele de generare a aburului. S-a acordat o atenție deosebită tehnologiilor și proceselor de purificare a gazelor arse de emanațiile nocive, în special de SO_x, NO_x etc.

● Firma BRITISH Coal Corporation a efectuat probele industriale a două scheme de instalații de prelucrare a cărbunilor în strat fluidizat, în scopul obținerii unui gaz de valoare calorifică scăzută, care să fie în continuare utilizat la obținerea unui gaz fierbinte, avînd temperatura de 1500°C. Prima schemă de gazeificare a cărbunelui prevede alimentarea cu aer sau cu abur printr-un orificiu de formă conică pentru obținerea unor învîrtiri suplimentare a fluxului.

A doua schemă reprezintă comasarea într-un singur reactor a secțiilor de ardere și de piroliză.

Gazeificarea propriu-zisă s-a realizat la o temperatură de 950—980°C, la presiunea atmosferică.

Capacitatea instalației — 0,5 t/h. În urma încercărilor s-a realizat un grad de conversie de 60—70%, constatîndu-se o creștere a eficienței utilizării energiei de 1,5 ori. S-au micșorat emanațiile de NO_x și SO_x pînă la 0,05, respectiv 0,03%.

● Publicația engleză „Science" publică în nr. 239/1988, 4842, articolul „*Recent progress in the direct liquefaction of coal*" semnat de Robert R. Lumpkin, în care se face o analiză a principalilor indicatori tehnico-economici ai diferitelor procese de conversie a cărbunilor în combustibili lichizi artificiali, realizate în țări ca S.U.A., R.F.G., Marea Britanie, Japonia. Se constată că după anul 1980 activitatea în acest domeniu a scăzut treptat, pe măsura scăderii prețurilor la țiței. Se așteaptă ca noile procese de conversie să devină economice în perioada 2000—2015, cînd vor fi elaborate noi metode de măcinare a cărbunilor (fără distrugerea caracteristicilor fizico-chimice ale acestora), cînd se vor produce catalizatori eficienți și vor fi găsite noi posibilități de dezvoltare a procesului, în condiții mai puțin dure.

Regenerarea în dublu flux a VIONIT-ului CS_3 aplicată la ape cu salinitate ridicată

Ing. NICOLAE NINĂ, chim. MIHAI CHIRICA*

Descriptori: chimia în energetică

Materialul prezintă rezultatele experimentărilor industriale la tratarea apei cu salinitate ridicată utilizînd schimbătorul de ioni românesc tip VIONIT CS_3. Bateria de filtre cationice este formată din două filtre care se regenerează înseriat, din care filtrul al doilea în dublu flux. Apa care se tratează are salinitatea de 15 mval/l, iar raportul sodiu pe total cationi este cuprins între 40 și 60%.

The report deals with results of industrial high salinity water treatment tests using the Romanian ions exchanger type VIONIT CS_3. The cations filters battery consists of two filters with serial regeneration, among which, the second filters in double flow. The treatment water salinity is 15 mval/l while the sodium ratio per total cations amounts to 40—60%.

Pentru reducerea consumurilor de reactivi chimici la regenerarea schimbătorilor de ioni și reducerea scăpărilor de ioni în timpul funcționării, pe plan mondial și la noi în țară se aplică regenerarea în contracurent sau în dublu flux a filtrelor ionice.

Regenerarea în dublu flux este o variantă a regenerării în contracurent și constă în menținerea contrapresiunii cu o parte a regenerantului ce intră în filtru. Pentru aceasta se introduce regenerantul simultan pe la partea superioară și inferioară a filtrului, iar evacuarea efluentului se efectuează prin drenajul median amplasat în interiorul stratului de schimbători de ioni.

Alegerea unuia dintre cele două procesee de regenerare se face în funcție de salinitatea sursei de apă ce alimentează instalația.

La apele cu salinitate ridicată, caz în care cantitatea de schimbător de ioni necesară nu încape într-un singur filtru, se aplică varianta cu două filtre înseriate. În acest caz, filtrul nr. 2 este regenerat în dublu flux, iar primul filtru în echicurent cu regenerantul ce iese din filtrul nr. 2, prin drenajul median amplasat la 50—80 cm sub nivelul stratului de schimbător de ioni.

Pentru buna funcționare a sistemului și obținerea rezultatelor scontate, este necesară respectarea următoarelor reguli în timpul regenerării :

— afînarea la fiecare regenerare a stratului de schimbător de ioni situat deasupra drenajului median ;

— afînarea întregului strat filtrant o dată la 10—15 cicluri de funcționare, urmată de o regenerare cu o cantitate de acid de 1,5—2 ori mai mare decît la celelalte regenerări ;

— suprapunerea concentrațiilor maxime ale acidului ce iese din cele două straturi de schimbători de ioni la nivelul drenajului median din filtrul H2. Acest deziderat se realizează prin decalarea în timp a începerii dozării acidului la partea superioară și inferioară a filtrului nr. 2. Se începe cu dozarea acidului în stratul inferior și după circa 15—20 min se începe și dozarea acidului în stratul superior. Acest decalaj în timp este necesar să fie verificat la fiecare instalație în parte ;

— asigurarea unei concentrații de 4—5% a acidului ce intră în filtrul nr. 1, care este regenerat în echicurent. Pentru aceasta este necesară o concentrație de 8 — 10% a celor două fluxuri de acid ce intră în filtrul nr. 2 ;

— evitarea diluării acidului ce intră în filtrul nr. 1 cu apa situată deasupra stratului de schimbător de ioni. Pentru aceasta este necesară golirea parțială a filtrului pînă la circa 10—15 cm peste nivelul masei ionice ;

— asigurarea unui timp suficient de contact între fluxul de acid și schimbătorul de ioni pentru obținerea randamentului maxim de regenerare. Regenerarea în dublu flux duce la o creștere cu 5—10% a capacității utile și o reducere de 10 ori a scăpărilor de ioni de Na din bateria cationică, comparativ cu regenerarea clasică și la un consum mai mic de regenerant.

Pentru exemplificare sînt prezentate rezultatele obținute în funcționarea unei baterii de filtre cationice echipată cu VIONIT CS_3, alimentată cu o sursă de apă cu salinitate ridicată avînd următoarele caracteristici :

* ST = 15,4 mval/l ;
* m = 2,85 mval/l ;
* — m = 12,55 mval/l ;
* $\frac{Na}{ST} = 40 - 60\%$.

În tabelele 1 și 2 sînt prezentate principalele caracteristici funcționale și de regenerare ale

* Ing. Nicolae Ninã — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București, chim. Mihai Chirica — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

Tabelul 1

Principalele caracteristici constructiv-funcţionale şi de regenerare ale bateriei de filtre cationice

Tipul schimbătorului de ioni	Filtrul H1			Filtrul H2							V. total cationit (mc)	Sarcina ionică netă (val/ciclu)	Capacitate utilă (val/mc)	Consum HCl		
	Diametru (mm)	V. masă (mc)	h. strat (mm)	Diametru (mm)	V. masă (mc)	h. strat (mm)	V. strat inferior (mc)	h. strat inferior (mm)	V. strat superior (mc)	h. strat superior (mm)				Total (kg 100%)	Pentru 1 mc masă (kg 100%)	l HCl 32%/mc apă
VIONIT CS3	3200	12	1500	3200	15.2	1900	8	1000	7.2	900	27.2	20328	747	1484	54.6	3.03
DUOLITE C-20	3200	10	1250	3200	15.2	1900	8	1000	7.2	900	25.2	20328	806	1310	52.0	2.67

Tabelul 2

Principalele caracteristici constructiv-funcţionale şi de regenerare ale bateriei de filtre cationice

Tipul schimbătorului de ioni	Volum masă ionică			Cantitate regenerant 100% (kg)	Dozare acid				Spălare lentă			Total timp de contact (min)	Spălare finală		Scăpări ioni de Na (g/mc)
	FILTRUL H1 (mc)	FILTRUL H2 (mc)	Total (mc)		Debit (mc/h)	Timp (min)	Concentraţie regenerant (%)	Volum regenerant diluat (mc)	Debit (mc/h)	Timp (min)	Viteză apă în filtrul H1 (m/h)		Debit (mc/h)	Timp (min)	
VIONIT CS3	12	15.2	27.2	1484	32	31	9	16.5	30	90	3.75	121	55	30	1.17
DUOLITE C-20	12	15.2	27.2	1484	55	33	6.2	24	55	49	6.87	82	55	118	0.55

bateriei de filtre cationice analizate. Pentru comparare, sînt prezentate datele furnizate de firma DUOLITE în oferta de schimbători de ioni, ca opţiune posibilă pentru echiparea filtrelor cationice cu DUOLITE C—20, precum şi cele legate de tehnologia de regenerare pentru cantităţile de schimbători de ioni cu care s-au echipat filtrele cationice (tabelul 2).

Din analiza comparativă a celor două tipuri de cationit puternic acid rezultă că pentru VIONIT CS3 s-au luat în considerare:

— capacitatea utilă cu 7% mai mică;

— consumul specific de regenerant cu 11% mai mare;

— timpul de contact între regenerant şi schimbătorul de ioni cu 52 % mai mare;

— scăpările de ioni de Na admise în timpul ciclului de funcţionare: duble;

— viteza regenerantului în filtre cu 45% mai mică.

Pentru analiza modului de funcţionare a bateriei de filtre cationice sînt prezentate, în continuare, rezultatele obţinute în timpul a patru cicluri de funcţionare.

Tabelul 3

Parametrii menţinuţi la regenerarea înseriată a filtrelor, în patru condiţii diferite

Numărul diagramei	Dozare acid în filtrul H2									Spălare lentă				Timp total de contact (min)	Nivel de regenerare kg/mc HCl 100%
	Cantitate HCl 32% (mc)			Debit ejector (mc/h)		Concentraţie regenerant (%)		Durata dozare (min)		Decalaj pornire ejectori (min)	Concentraţie acid la intrare FH1		Conc. finală acid la ieşire FH1 (%)	Durata (min)		
	Strat superior	Strat inferior	Total	Strat superior	Strat inferior	Strat superior	Strat inferior	Strat superior	Strat inferior		> 3.6% 1000 myal/l (min)	max (%)				
1	2	2	4	17.2	19.1	9	9	30	27	20	30	4.9	0.5%	90	125	54.5
2	2.5	2.5	5	17.6	16.6	10	10	30	32	20	45	6.5	1%	90	132	68.2
3	4	4	8	17.5	16.8	10	10	45	47	20	50	7.1	1.4%	90	160	109
4	2.5	1.5	4	11.8	11.8	9.9	7.5	55	39	15	70	5.0	0.6%	190	260	54.5
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

În tabelul 3 sînt prezentați parametrii de regenerare a celor patru cicluri de funcționare. La primele trei cicluri de funcționare, regenerarea s-a făcut cu cantități crescătoare de acid clorhidric. La ciclul nr. 4, regenerarea s-a făcut cu aceeași cantitate de regenerant ca la ciclul nr. 1, însă cu un debit mai mic la regenerare, menținut și în timpul spălării lente, ceea ce a asigurat un timp de contact de circa trei ori mai mare decît la ciclul nr. 1. Pentru comparare, în figura 5 sînt prezentate scăpările de ioni de Na din timpul ciclului de funcționare a unei baterii cationice încărcată cu VIONIT CS_3, livrat de furnizor sub forma H^+.

Din analiza rezultatelor obținute, prezentate în figurile 1—4, rezultă :

— în toate ciclurile, bateria, din punctul de vedere al acidității „—m" nu s-a epuizat. La ciclurile nr. 1 și 2, bateria de filtre cationice s-a

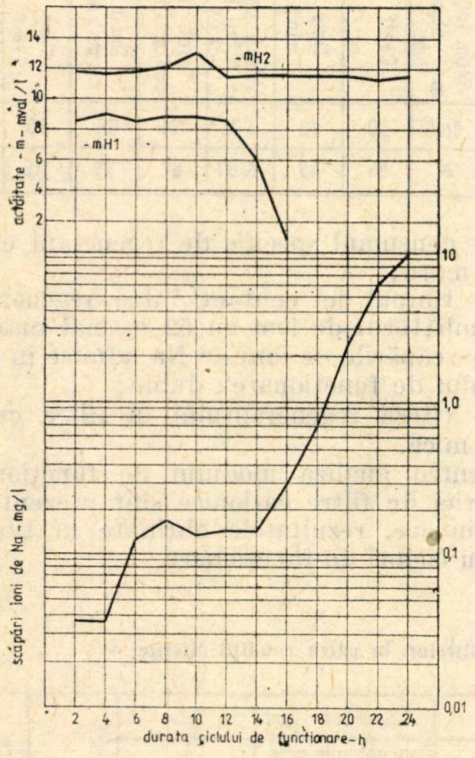


Fig. 1. Variația indicilor chimici (aciditate, sodiu) în efluentul filtrelor H1 și H2 pe durata funcționării, în condițiile de regenerare prezentate în tabelul 3, poziția 1.

epuizat prematur și a fost scoasă din funcțiune din cauza scăpărilor mari de ioni de Na, mult peste limita admisă ;

— creșterea cantității de regenerant de la 54,5 la 109 kg HCl 100% pe m^3 de schimbători de ioni a determinat reducerea scăpărilor de ioni de Na, dar nu atît pe seama măririi excesului de regenerant, cît datorită măririi timpului de contact între regenerant și schimbătorul de ioni, din cauza cantității mai mari de acid ;

— la aceeași cantitate de regenerant, 54,5 kg HCl 100% pe m^3 de schimbător de ioni, triplarea timpului de contact între regenerant și schimbătorul de ioni, prin reducerea debitului ejectorului de acid, a dus la rezultate specta-

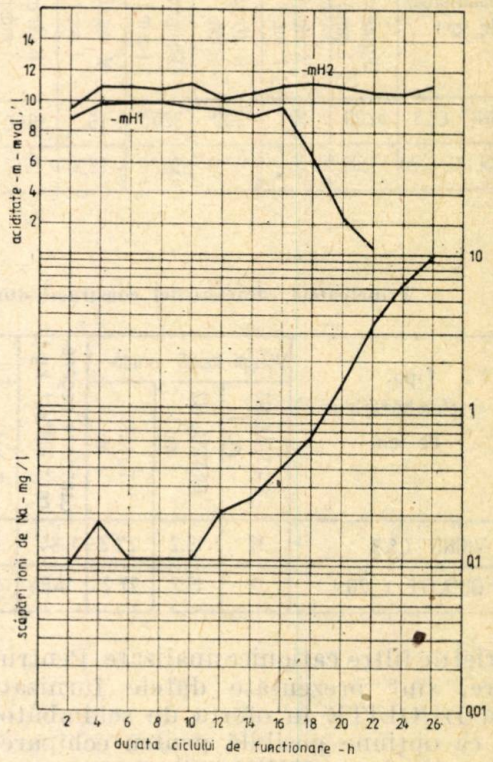


Fig. 2. Variația indicilor chimici (aciditate, sodiu) în efluentul filtrelor H1 și H2 pe durata funcționării, în condițiile de regenerare prezentate în tabelul 3, poziția 2.

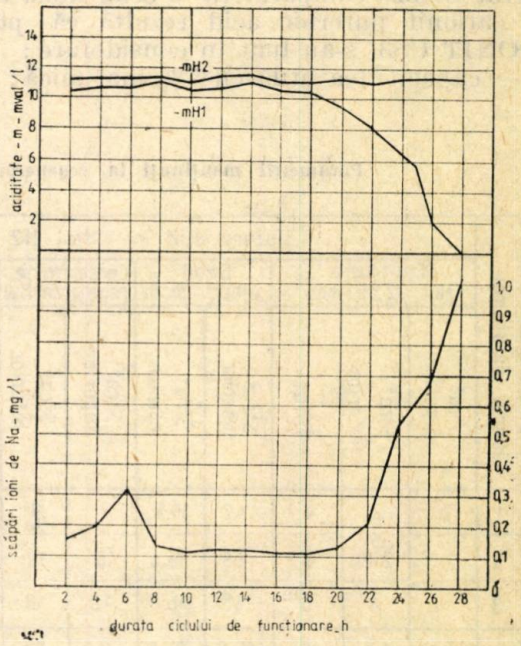


Fig. 3. Variația indicilor chimici (aciditate, sodiu) în efluentul filtrelor H1 și H2 pe durata funcționării, în condițiile de regenerare prezentate în tabelul 3, poziția 3.

culoase : reducerea de 10 ori a nivelului scăpărilor de ioni de Na ;

— randamentul de funcţionare al filtrului H2 din baterie este mult mai mic decît al filtrului H1, deşi filtrul H2 este regenerat cu toată cantitatea de acid cu care este regenerată bateria.

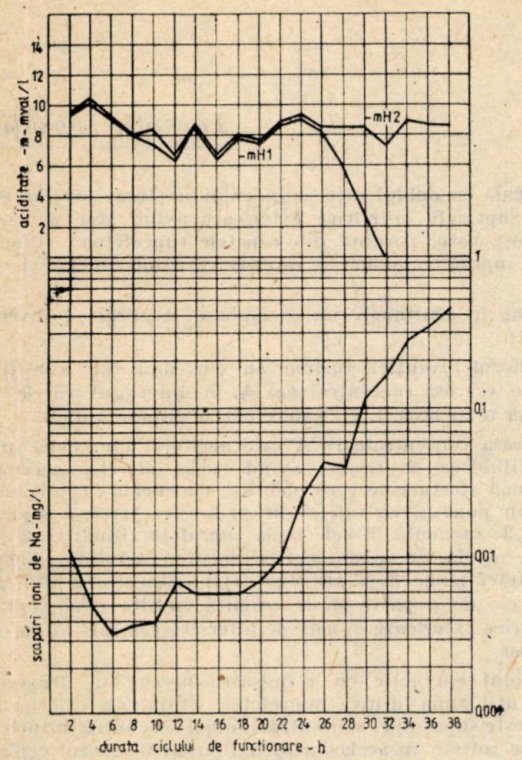


Fig. 4. Variaţia indicilor chimici (aciditate, sodiu) în efluentul filtrelor H1 şi H2 pe durata funcţionării, în condiţiile de regenerare prezentate în tabelul 3, poziţia 4.

Din cele prezentate mai sus rezultă că VIONIT CS_3, în cazul apelor cu salinitate ridicată şi cu sodiu, are un randament mai scăzut în funcţionare, care poate fi corectat nu prin creşterea excesului de regenerant, ci prin mărirea, mult peste datele comparative cu alte tipuri de schimbători de ioni, a timpului de contact între regenerant şi schimbătorul de ioni.

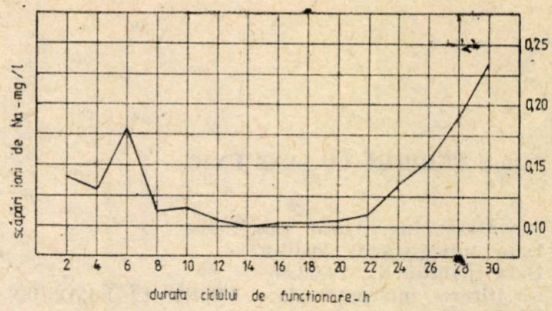


Fig. 5. Variaţia conţinutului de sodiu în efluentul bateriei de filtru cationice, încărcată cu VIONIT CS_3, livrat de furnizor în forma regenerată.

O cauză probabilă a randamentului mai scăzut de funcţionare este legată de structura spaţială a polimerului, cu repercusiuni asupra vitezelor de difuziune a reactanţilor spre şi dinspre grupele active ale VIONIT-ului CS_3.

Se poate ajunge la o concluzie esenţială a cercetărilor efectuate în instalaţia prezentată, şi anume : economii importante de reactivi chimici se pot realiza prin adaptarea şi optimizarea tehnologiilor de regenerare date în proiecte şi prin studiul atent al condiţiilor specifice fiecărei instalaţii.

(Primit la 27 iunie 1989, acceptat la 11 iulie 1989)

NOUTĂŢI

Din energetica mondială

EXPERIENŢA DE EXPLOATARE A LEA 750 kV ÎN U.R.S.S.

Revista Elektriceskie stanţii nr. 5/1988 publică articolul cu titlul de mai sus, semnat de Burgsdorf şi Turskaia, în care se arată că LEA de 750 kV posedă un grad mai mare de siguranţă decît LEA de 500 kV. Astfel, conform datelor statistice, la LEA 750 kV are loc o declanşare pe an la 650 km.

Datorită nivelului înalt al izolaţiei electrice şi ecranării sigure a conductoarelor cu ajutorul conductoarelor de protecţie, siguranţa acestor linii la descărcările electrice atmosferice este mult mai mare decît în cazul LEA 500 kV.

Izolaţia electrică a LEA 750 kV este aleasă în mod corespunzător, fapt datorită căruia declanşările în cazurile de umezire a lanţurilor de izolatoare sînt foarte rare. Aceste linii rezistă bine şi la eforturile provocate de vînt sau de chiciură, iar avarii grave au loc numai în mod excepţional, în cazurile unor supraîncărcări deosebit de mari sau ale unor defecţiuni de fabricaţie sau de montaj. Nu s-au înregistrat cazuri de avarii datorită unor defecţiuni cauzate de îmbătrînirea materialelor. Declanşările cauzate de fenomenul vibraţiei conductoarelor sînt extrem de rare, iar cînd au loc sînt legate de lipsuri la execuţia sau montajul armăturilor.

Distanţele dintre faze şi conductoarele de protecţie, adoptate la LEA 750 kV sînt suficiente şi exclud, în mod practic, apariţia între ele a arcurilor electrice. În porţiunile de linie în care sînt observate uzuri la dispozitivele de fixare a lanţurilor de izolatoare, este necesară montarea de amortizoare de vibraţii.

Cea mai mare parte a declanşărilor de avarie ale LEA 750 kV este determinată de avarii în staţiile electrice, care au loc atît din cauza echipamentelor şi funcţionării necorespunzătoare a protecţiilor prin relee, cît şi din cauza greşelilor personalului.

Utilizarea instalaţiilor de reanclanşare automată duce la creşterea substanţială a siguranţei, mai mult de 50% din totalul declanşărilor fiind rezolvate prin repunerea imediată în funcţiune a LEA 750 kV.

(După: Referativnii jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr 9/1988, poz. 9E75)

NOUTĂȚI

Invenții-Inovații *

(54) Titlul: **TURBINĂ CU SENS UNIC**

(72) Inventator: ing. Lazăr Dan Petru
(22) Data înregistrării: 29.01.87
(45) Data publicării: 24.06.89
(51) Clasificare internațională: F03B13/12//F03D3/02/ / F03D3/04
(11) Brevet România: 97621
(73) Titular: Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice, București

Invenția se referă la o turbină cu sens unic, destinată valorificării energiei cinetice a vîntului, valurilor, curenților marini sau a altor fluide.

Problema rezolvată de invenție constă în realizarea unei turbine cu sens unic, la care concentrarea fluidului în amonte de turbină se obține fără salturi de densitate și presiune.

Turbina cu sens unic, protejată de o carcasă formată din două suprafețe cilindrice cu curburi opuse, conform invenției, rezolvă problema enunțată prin aceea că este

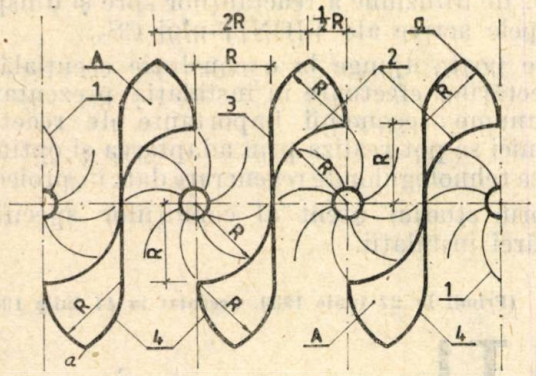


Fig. 1. Secțiune transversală prin mai multe turbine cu sens unic, legate între ele.

prevăzută cu o suprafață plană, tangentă în punctul de inflexiune la numitele suprafețe cilindrice, a cărei lățime este egală cu dublul razei cilindrului acestora, precum și cu două suprafețe cilindrice exterioare avînd aceeași rază de generare, care, pornind din capetele suprafețelor cilindrice și ale suprafeței plane, se intersectează într-un punct exterior.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției (fig. 1).

Conform invenției, turbina cu sens unic este constituită dintr-o carcasă concentratoare **A**, în interiorul căreia este dispusă o turbină **1**, cu palete curbe dispuse radial.

Carcasa concentratoare **A** este alcătuită din două suprafețe cilindrice **2**, fiecare avînd curba directoare compusă din două sferturi de cerc identice, cu curburi opuse, racordate în punctul de inflexiune prin care trece o suprafață plană **3**, tangentă la cele două suprafețe cilindrice **2** și de lățime egală cu diametrul cilindrului acestora. Capetele suprafeței plane **3** și ale suprafeței cilindrice **2** sînt unite între ele de o parte și de cealaltă cu alte două suprafețe cilindrice exterioare **4**, care se intersectează într-un punct a exterior.

Fluidul energetic cu o mișcare neregulată traversează mai întîi zona dintre suprafețele cilindrice exterioare **4**, unde este supus unei concentrări, după care intră în turbina **1** care se rotește în același sens indiferent de sensul deplasării fluidului energetic în interiorul carcasei concentratoare **A**.

Mișcarea de rotație astfel obținută poate fi și transmisă, de exemplu, unui generator electric prin intermediul unui multiplicator de turație și al unui regulator al mișcării.

Prin gruparea mai multor turbine cu sens unic se pot forma fronturi de captare ce pot ocupa suprafețe practic nelimitate, valorificînd superior energia vîntului, a valurilor sau a curenților marini.

În cazul în care direcția de deplasare a fluidelor de lucru este practic constantă, se poate renunța la suprafața plană **3** și la suprafețele cilindrice exterioare **4**.

Turbina cu sens unic, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

— asigură creșterea gradului de valorificare a energiei cinetice a fluidelor în mișcare;

— permite reducerea consumului de materiale metalice.

(56) **Referințe bibliografice**

Brevet Franța nr. 2488658

* Rubrică alcătuită cu sprijinul ing. Nicolae Pănoiu — DTSNRE—M.E.E.

SINTEZĂ

PRIVIND PROGRAMUL DE CERCETARE ŞI DEZVOLTARE TEHNOLOGICĂ ÎN DOMENIUL ENERGIEI AL COMUNITĂŢII EUROPENE PENTRU PERIOADA 1989—1992 *

Programul actual de cercetare ştiinţifică şi dezvoltare tehnologică (CS-DT) al Comunităţii Europene(CE) reprezintă o continuare a programelor anterioare, începînd din anul 1975, pe baza obiectivelor energetice stabilite pînă în anul 1995. Programul cuprinde toate problemele de CS-DT privind producţia şi utilizarea energiei, cu excepţia problemelor de securitate nucleară, eliminarea deşeurilor radioactive, dezafectarea centralelor nucleare, energia de fuziune; energetica nucleară face obiectul altor programe.

Obiectivele principale ale programului sînt:

— întărirea pe termen lung a securităţii furnizării energiei electrice şi reducerea importului de energiei prin diversificarea surselor şi prin utilizarea ei mai eficientă;

— reducerea poluării mediului înconjurător în procesele de conversie şi utilizare a energiei;

— îmbunătăţirea competitivităţii industriale a CE prin reducerea costului energiei şi dezvoltarea tehnologiilor energetice;

— constituirea în anul 1992 a pieţei interne în sectorul energiei, stabilind norme şi standarde corespunzătoare pe bază de cercetare;

— soluţionarea problemelor tehnice ridicate de furnizarea şi utilizarea energiei în ţările în curs de dezvoltare.

Ţinînd cont de caracterul strategic al dezvoltării energetice, se consideră justificată finanţarea de către stat a activităţii de CS-DT. Se apreciază că programul pentru perioada 1989—1992 necesită fonduri în valoare de 122 mil. Ecu ** (≃ 30,5 mil. Ecu/an).

Investiţiile CE în domeniul energiei sînt de 70 miliarde Ecu/an. Reducerile recente ale preţurilor petrolului au determinat reducerea fondurilor de stat şi particulare destinate activităţii de CS-DT în energetică. Este totuşi necesară continuarea cercetărilor pentru a nu pierde experienţa dobîndită şi pentru a pregăti tehnologii gata de utilizare atunci cînd problema aprovizionării cu energie va deveni din nou acută; acţiunea se referă în special la utilizarea energiei regenerabile şi la respectarea unor restricţii (pe bază de norme şi standarde) în producţia şi utilizarea energiei, legate de protecţia mediului înconjurător.

În perioada de pînă acum s-au obţinut succese deosebite privind următoarele probleme: reducerea consumurilor specifice de energie în industrie, perfecţionarea pompelor de căldură, a schimbătoarelor de căldură, a acumulatoarelor electrice, a pilelor de combustie. Au fost îmbunătăţite tehnologiile de foraj la mare adîncime şi tehnologiile de valorificare a energiei rocilor calde uscate; au fost elaborate şi testate modele noi în domeniul energiei.

Pentru perioada 1989—1992 tematica de CS-DT a fost selectată cu stricteţe, ţinînd cont de fondurile limitate puse la dispoziţie. Au fost preferate două tipuri de acţiuni:

1) proiecte de cercetare strategică necesitînd colaborări;

2) proiecte tehnologice cu eficienţă ridicată pe termen scurt sau mijlociu.

Programul de CS-DT al CE pentru perioada 1989—1992 cuprinde cele patru subprograme din tabelul 1.

Tematica de CS-DT a subprogramelor cuprinde următoarele probleme principale:

Subprogramul I. Metode pentru energie şi mediul înconjurător

Se urmăreşte actualizarea şi extinderea unor modele existente, precum şi elaborarea de modele noi privind:

— resursele şi aprovizionarea cu energie;

Tabelul 1

	I. Denumirea subprogramului	Justificare	Fonduri necesare [mil. Ecu]
I.	Modele pentru energie şi mediul înconjurător	Necesitatea modelării interacţiunilor energie-mediu înconjurător şi energie-economie; identificarea de căi noi de cercetare energetică în perspectiva desăvîrşirii pieţei interne a CE	6
II.	Mărirea eficienţei producţiei şi a utilizării raţionale a energiei	Economisirea energiei este mai puţin costisitoare decît producerea ei. Există mari rezerve în economisirea energiei în industrie, construcţii şi transporturi Necesitatea perfecţionării conversiei energiei (pile de combustie, supraconductoare) şi a stocării eficiente	35
III.	Utilizarea optimă şi nepoluantă a combustibililor fosili (cărbune, petrol, gaze naturale)	Necesitatea de descoperire şi exploatare a unor noi depozite de hidrocarburi. Utilizarea pe scară largă a cărbunelui în centrale electrice. În perioada următoare, combustibilii fosili vor avea în continuare o pondere mare în aprovizionarea cu energie a CE	34
IV.	Dezvoltarea energiilor regenerabile	Necesitatea ameliorării performanţelor, a reducerii costurilor şi a creşterii fiabilităţii în exploatarea instalaţiilor care valorifică surse regenerabile de energie	47
		TOTAL : 122	

— cererea de energie, în funcţie de preţul combustibililor, preferinţele consumatorilor, modificările structurale ale economiei, promovarea tehnologiilor noi, reacţii la utilizarea raţională a energiei;

* Comisia Comunităţii Europene: Propunere de decizie a consiliului privind stabilirea unui program specific de cercetare şi de dezvoltare tehnologică în domeniul energiei energiilor nenucleare şi utilizarea raţională a energiei — 1989—1992.

** 1 Ecu = 1,1 $/1989

— interacțiunile energie-mediu înconjurător și incidența lor asupra sectoarelor industriale; măsuri în sfera producției de energie electrică; prevederi cu caracter normativ;

— interacțiunile energie-economie, ținînd cont de concurență; mărirea elasticității barierelor vamale;

— studii tehnico-economice privind tehnologiile energetice.

Subprogramul II. Mărirea eficienței producției și a utilizării raționale a energiei

În cadrul CE consumul de energie primară are următoarea structură: clădiri — 39% (24% pentru încălzirea spațiilor, 15% sub formă de energie electrică), industrie — 36%, transporturi — 25%. Există rezerve mari privind reducerea cererii de energie primară, îmbunătățirea aprovizionării, stocarea energiei și reducerea emisiunilor de poluanți.

În privința conservării energiei, în sectoarele de utilizare finală sînt urmărite, ca obiective principale:

— reducerea consumurilor de căldură și energie electrică în clădiri; realizarea de construcții economice, diversificate din punct de vedere arhitectonic, cu valorificarea energiei solare prin sisteme pasive. Se preconizează introducerea unor sisteme de iluminat și a unor aparate electrocasnice mai eficiente, eliminarea infiltrațiilor de aer în clădiri, utilizarea de pompe de căldură de putere mărită (> 100 kW);

— perfecționarea tehnologiilor de ardere în vederea economisirii energiei și a reducerii poluării. Tematica de cercetare se referă la: cercetări fundamentale și elaborarea instrumentelor pentru realizarea de sisteme alternative de ardere (aprofundarea proceselor de ardere și de turbulență, diagnosticarea proceselor de ardere cu ajutorul laserului, elaborarea de modele de simulare informatizate); dezvoltarea de sisteme de ardere eficiente și nepoluante, specifice motoarelor cu ardere internă, furnalelor, cuptoarelor, turbinelor cu gaze etc.

— reducerea cu circa 20% a consumului de energie în industrie, cu efecte pozitive în ceea ce privește creșterea productivității, economisirea materiilor prime, reducerea poluării și a cantității de deșeuri. Se preconizează simularea prin modele a proceselor energointensive, precum și introducerea unor mijloace tehnice perfecționate: schimbătoarele de căldură, pompe de căldură cu absorbție la temperaturi înalte, convertoare tehnice, captatoare, aparatură de control. În problema aprovizionării cu energie și stocarea ei, accentul activității de cercetare se va pune pe următoarele tehnologii și echipamente;

— pile de combustie cu randamente de pînă la 50%, în instalații cu putere de pînă la 200 MW; poluare mai redusă decît cea produsă de utilizarea directă a combustibilului. Vor fi realizate pile de combustie de mare putere, cu oxid solid (tip SOFC); problema necesită cercetare fundamentală în privința electrozilor, a electroliților, a structurilor ceramice cu funcționare în domeniul temperaturilor de 700—800°C. Vor fi construite instalații pilot de 1—3 kW, iar tehnologia SOFC va fi integrată în ciclul combinat gaze-abur. Se vor efectua cercetări fundamentale pentru pilele de combustie cu carbonat lichid. Pentru aplicații la scară redusă (1—50 kW) vor fi promovate pile de combustie directă de metanol;

— supraconductoare de înaltă temperatură, cu aplicații în domeniul cablurilor, generatoarelor și motoarelor electrice, al transformatoarelor și bobinelor de reactanță;

— stocarea energiei, în vederea adaptării ofertei energetice la cerere, legată de utilizarea energiei eoliene și a celei solare și cu aplicații în energetica nucleară și în transportul cu vehicule acționate electric. Vor fi perfecționate tehnologiile privind acumulatoarele cu litiu solid, precum și cele privind stocarea hidrogenului.

Subprogramul III. Utilizarea combustibililor fosili

Se estimează că în anul 2000 combustibilii fosili vor reprezenta 80% din resursele primare de energie ale CE (jumătate o reprezintă hidrocarburile). Rezervele de petrol și gaze cunoscute în prezent vor fi epuizate înainte de sfîrșitul secolului următor, dar noile tehnologii vor permite accesul la noi resurse. Combustibilii solizi nu vor fi epuizați decît după mai multe secole.

În domeniul hidrocarburilor se urmărește utilizarea optimă (completă și curată din punct de vedere ecologic) prin promovarea de tehnologii prioritare:

— tehnologii de identificare și exploatare a depozitelor; foraj cu tehnologii complementare avansate;

— aplicarea noilor cunoștințe din mecanica fluidelor, recuperarea petrolului etc.;

— tehnologii de extracție a petrolului maritim;

— creșterea producției de gaze naturale și conversia acestora în combustibili lichizi;

— conversia combustibililor grei și a sedimentelor din fundul zăcămintelor de hidrocarburi ușoare.

În domeniul cărbunelui trebuie să se țină cont de importanța mare a utilizării acestuia în centralele electrice, avînd în vedere și opoziția unor state față de dezvoltarea energeticii nucleare. Principalele obiective de cercetare au ca scop mărirea randamentului de conversie și reducerea emisiunilor poluante (SO_2, NO_x) la arderea cărbunelui. Experimentarea industrială a noilor soluții va fi efectuată la centralele în funcțiune, promovînd următoarele soluții tehnologice:

— arderea în strat fluidizat sub presiune, în ciclu combinat;

— postarderea în ciclu combinat;

— arderea în strat fluidizat la presiune atmosferică, cu circulație interioară în ciclu combinat;

— gazeificarea cărbunelui în ciclu combinat, inclusiv desulfurarea și evacuarea gazelor calde;

— utilizarea amestecului cărbune-apă, perfecționarea arzătoarelor etc.

Subprogramul IV. Dezvoltarea energiilor regenerabile

Strategia CE urmărește cu prioritate valorificarea energiei vîntului, a energiei solare, a energiei hidraulice, a biomasei și a energiei geotermale, existînd, pentru fiecare resursă obiective de CS-DT în perioada 1989—1992. Dezvoltarea energiilor regenerabile constituie unul din elementele soluționării problemei CO_2. Se impun soluții viabile din punct de vedere economic, independent de fluctuațiile prețului energiei.

Pentru valorificarea energiei vîntului, tematica de cercetare cuprinde următoarele probleme: măsurători și modelări privind caracteristicile vîntului; experimentarea unor noi instalații eoliene, fiabile, cu puterea de ordinul MW; elaborarea de componente și modele informatizate.

În domeniul energiei solare, programul de cercetare se referă la sistemele fotovoltaice, al căror cost a scăzut simțitor în ultimii ani; în perspectivă costul va scădea și mai mult, datorită creșterii randamentului pilelor, perfecționării procesului de producție și optimizării la nivel de sistem. Vor fi promovate soluții privind pilele fotovoltaice cu siliciu cristalin, siliciu amorf și alte dispozitive cu strat subțire; vor fi realizate sisteme pilot.

În privința valorificării energiei hidraulice accentul se pune pe realizarea de micro-CHE. Pentru valorificarea energiei valurilor și a energiei mareelor, programul prevede numai estimări pentru acțiuni în perioada următoare.

Se apreciază că o pondere însemnată din necesarul de energie după anul 2000 ar putea fi acoperită, în mod rentabil și fără poluare, prin valorificarea biomasei din agricultură și silvicultură. În domeniul biomasei, obiectivul principal îl constituie elaborarea tehnologiilor de producție, recoltare și stocare a culturilor energetice cu randament superior, de conversie biologică și termică și de utilizare a combustibililor obținuți.

Conversia termică va fi realizată prin piroliză, arderea nepoluantă a deșeurilor și prin procese catalitice. Vor fi realizate stații pilot și instalații integrate de mari dimensiuni.

În domeniul energiei geotermale și al straturilor profunde s-au descoperit cantități mari de resurse în cadrul CE. Cercetările vor fi axate pe:

— valorificarea energetică a rocilor calde uscate prin realizarea unei instalații pilot la nivel european;

— valorificarea resurselor cu entalpie ridicată;

— combaterea coroziunii și a depunerilor de piatră în instalații;

— studiul geologic al straturilor adînci, al profilelor seismice, stabilirea releveelor magnetotelurice și geofizice; vor fi efectuate măsurători în puțurile de foraj la mare adîncime.

Dr. ing. IOSIF CSERVENY — ICEMENERG

SESIUNEA ŞTIINŢIFICĂ ISPE – ISPH„ REALIZĂRI ŞI PERSPECTIVE ÎN PROIECTAREA ENERGETICĂ ROMÂNEASCĂ" DEDICATĂ CELEI DE-A 40-A ANIVERSĂRI A ÎNFIINŢĂRII CELOR DOUĂ INSTITUTE

În cadrul acţiunii de refacere şi dezvoltare pe noi baze a economiei naţionale, după cel de al doilea război mondial, s-a acordat o atenţie deosebită ramurii energiei electrice, elaborîndu-se primul plan de electrificare a ţării, pentru intervalul 1950—1960. Printre măsurile concrete de dezvoltare a acestei noi ramuri a fost aceea de a se organiza un institut care să elaboreze studiile şi proiectele necesare realizării obiectivelor energetice.

Această măsură s-a finalizat prin înfiinţarea, în anul 1949, a Institutului de Studii şi Proiectări Energetice.

Angrenat de la început în elaborarea planului decenal de electrificare a ţării şi grupînd cei mai buni specialişti ai ţării de la acea dată, ISPE s-a achitat cu competenţă şi conştiinciozitate de sarcinile trasate încă din primii ani de la înfiinţare. Aceasta a făcut ca să fie laureat al premiului de stat pe anul 1950 pentru contribuţia adusă la electrificarea ţării.

Dezvoltarea în continuare a economiei naţionale a pus sarcini noi, sporite, energeticienilor. Ca urmare, noul institut a început să se dezvolte şi să se diversifice, ceea ce a impus, în anul 1963, scindarea sa în Institutul de Studii şi Proiectări Energetice (ISPE) şi Institutul de Studii şi Proiectări Hidroenergetice (ISPH).

Obiectivele energetice apărute pe harta ţării, pe parcursul celor 40 de ani de activitate în domeniul electrificării ţării, ilustrează dăruirea, competenţa şi maturitatea profesională a celor două institute.

Etapa actuală constituie un moment de răscruce în energetica românească, fiind necesar a se trece de la centrale electrice clasice la centrale nuclearoelectrice, de la centrale hidroelectrice la amenajări complexe hidroelectrice, să se implementeze pe scară largă sursele noi şi recuperabile. Pentru toate aceste motive, aniversarea celor 40 de ani de la înfiinţare, în cadrul sesiunii ştiinţifice „Realizări şi perspective în proiectarea energetică românească" a constituit un prilej de bilanţ şi de stabilire a celor mai bune soluţii pentru rezolvarea eficientă a sarcinilor ce revin energeticii în etapa actuală.

Sesiunea a avut loc în zilele de 26 şi 27 septembrie 1989. La deschiderea lucrărilor, care a avut loc în Sala Mică a Palatului, au participat circa 1 000 persoane, reprezentînd specialişti ai celor două institute, în activitate sau pensionari, specialişti din Ministerul Energiei Electrice, din unităţile acestuia — DEN, CIPEET, CIRE, ICEMENERG, trusturi de construcţii şi montaje energetice, întreprinderi locale de centrale şi reţele electrice etc. — , precum şi din afara M.E.E. — Academia Română, IGSIC, Institutul Politehnic Bucureşti, Institutul de Construcţii Bucureşti, IRNE, Editura Tehnică, ICSITEE, trusturi de construcţii şi montaje etc.

Lucrările sesiunii s-au desfăşurat pe grupe de specialitate, în următoarele secţiuni:

I. Dezvoltarea sistemului electroenergetic şi surse noi
II.A. Tehnologii şi echipamente în centralele termoelectrice şi transportul căldurii — Partea termomecanică
II.B. Tehnologii şi echipamente în centralele termoelectrice şi transportul căldurii — Partea electrică şi automatizări
III. Tehnologii şi echipamente în centrale nuclearoelectrice
IV. Linii şi staţii de înaltă tensiune
V. Informatica în energetică
VI. Construcţii industriale şi hidrotehnice
VII. Construcţii hidroenergetice, inclusiv ecluze navigabile şi studii — cercetări
VIII. Tehnologii şi echipamente în centrale hidroelectrice, inclusiv CHEAP şi MHC

În cadrul acestor dezbateri s-au prezentat 380 referate, la discuţii luînd cuvîntul 220 de specialişti, asigurîndu-se astfel transferul de informaţii, lărgirea cercurilor de colaboratori şi generalizarea experienţei pozitive, încă din timpul sesiunii.

În toate secţiunile de lucru s-au prezentat şi dezbătut probleme majore ale activităţii de cercetare şi proiectare, care sînt în acelaşi timp probleme cu care se confruntă energetica românească.

În cele ce urmează se prezintă unele din aspectele rezultate de pe urma acestor dezbateri:

— elaborarea şi aplicarea de modele şi programe de calcul care să modeleze cît mai bine dezvoltarea în perspectivă a Sistemului Energetic Naţional, pentru a asigura toate necesităţile de consum;

— funcţionarea tuturor centralelor termoelectrice pe cărbune la parametrii din proiect, prin prevederea de soluţii specifice de adaptare la actualele situaţii;

— continuarea acţiunii de modernizare a instalaţiilor energetice prin adaptarea marilor grupuri energetice pentru a funcţiona şi în regim de termoficare, reducerea consumurilor specifice prin noi recuperări energetice;

— reducerea poluării datorită centralelor termoelectrice prin instalarea de noi echipamente specifice;

— generalizarea experienţei de la CNE Cernavodă la viitoarele centrale nuclearoelectrice;

— pregătirea documentaţiilor pentru organizarea unui centru unic pe ţară de instruire a personalului de exploatare din CNE;

— sistematizarea reţelelor electrice prin noi soluţii de compactizare şi raţionalizare;

— creşterea gradului de informatizare în ramura energiei electrice, atît în probleme de conducere operativă a agregatelor, cît şi de gestiune economică a unităţilor;

— creşterea gradului de industrializare a execuţiei prin colaborarea cu executantul încă din faza de proiectare;

— intensificarea şi sistematizarea urmăririi comportării în exploatare a obiectivelor energetice;

— dezvoltarea cooperării cu cadrele din învăţămîntul superior pentru rezolvarea unor probleme specifice;

— creşterea colaborării cu fabricanţii de echipamente pentru modernizarea instalaţiilor şi mărirea competitivităţii la export;

— extinderea aplicării calculelor bazate pe metoda elementului finit la toate tipurile de baraje, la centrale şi ecluze;

— extinderea gradului de tipizare a echipamentului hidromecanic de la centrale şi baraje în care să se poată încadra orice amenajare pe rîurile interioare;

— îmbunătăţirea soluţiilor pentru derivaţii la MHC şi CHEMP care să conducă la execuţii rapide şi ieftine cu consum redus de materiale deficitare.

Concluziile valoroase desprinse din lucrările acestei sesiuni, cu aplicabilitate imediată în activitatea de concepţie şi proiectare a obiectivelor energetice, vin să confirme maturitatea tehnică a participanţilor, conferind acestei sesiuni un ridicat nivel ştiinţific. Aceste fapte constituie garanţia că experienţa acumulată pe parcursul celor 40 de ani de activitate a celor două institute se va transmite în mod valoros viitoarelor generaţii de specialişti pentru dezvoltarea pe mai departe a energeticii româneşti.

Dr. ing. GEORGE MANOLESCU, dr. ing. GHEORGHE LUCA

Este bine cunoscută în comunitatea tehnico-științifică energetică din țara noastră și din întreaga lume Conferința Internațională a Marilor Sisteme Electroenergetice de Înaltă Tensiune (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension — CIGRÈ), cea mai importantă organizație tehnico-științifică internațională neguvernamentală din domeniul electroenergeticii.

Activitatea CIGRÉ* se desfășoară în 15 grupe de specialitate, cărora le corespund tot atitea Comitete Internaționale de Studii (CS).

CS 11 : Mașini rotative
CS 12 : Transformatoare
CS 13 : Echipamente de comutație
CS 14 : Legături în curent continuu
CS 15 : Materiale izolante
CS 21 : Cabluri izolate de înaltă tensiune
CS 22 : Linii electrice aeriene
CS 23 : Stații
CS 33 : Supratensiuni și coordonarea izolației
CS 34 : Protecții
CS 35 : Telecomunicații
CS 36 : Perturbații
CS 37 : Planificarea și evoluția sistemelor
CS 38 : Analiza și tehnologia sistemelor
CS 39 : Exploatarea și conducerea sistemelor

Sesiunile ce au loc la Paris în anii pari, reprezintă evenimentele cele mai importante din viața CIGRÉ.

Fiind organizație neguvernamentală, CIGRÉ are membri individuali (persoane fizice) sau colectivi (persoane juridice), deci nu guverne sau organisme reprezentînd guvernele diferitelor state ale lumii.

Cu toate acestea, în organizarea sa, CIGRÉ se bazează pe așa-numitele Comitete Naționale (CN) ale sale, care reunesc toți membri CIGRÉ din țara respectivă. Pentru ca CIGRÉ să reuneacă un Comitet Național, acesta trebuie să întrunească un număr de minimum 40 membri individuali.

Țara noastră, prin inginerii și oamenii săi de știință, a fost printre puținele țări fondatoare ale CIGRÉ, în perioada interbelică. După război CN Român și-a reluat prezența activă în anul 1956.

În ultimul deceniu însă, sub pretextul indisponibilității de valută, membrii români au fost puși în imposibilitate de a-și achita cotizațiile și astfel CN Român, în urma unor repetate avertismente din partea forurilor de conducere ale organizației, a încetat în cele din urmă să mai fie recunoscut, membrii români ai unor CS au fost treptat îndepărtați cu toții, contingentul român de rapoarte la sesiunile bianuale a fost redus la zero etc.

În tot acest timp, semnatarul acestor rînduri a făcut numeroase intervenții documentate, sprijinite de Ministerul Energiei Electrice, la forurile de resort ale dictaturii de tristă amintire, în vederea găsirii unor formule pentru plata cotizațiilor și împiedicarea desființării antenei românești a CIGRÉ. Din păcate, toate aceste eforturi s-au lovit de bariera inexpugnabilă a obscurantismului instituționalizat.

* * *

În prezent, condițiile din țara noastră s-au schimbat substanțial și procesul de liberalizare, inclusiv accesul și participarea specialiștilor români la viața tehnico-științifică internațională este pe drumul cel bun.

Vor fi în mod neîndoios create reglementările necesare pentru ca specialiștii români să poată obține sumele în valută destinate plății cotizațiilor de membru în organizații tehnico-științifice internaționale, participării la congrese și conferințe, achiziționării de cărți și reviste etc.

Dar, chiar din acest moment, adresăm un apel tuturor celor care activează în domeniul specialităților CIGRÉ, și doresc să devină sau să redevină membri ai CIGRÉ și au în cont personal la BRCE, sau sub alte forme, suma de 275 franci francezi, să dispună depunerea sau transmiterea acestei sume la Banca : Crédit Commercial de France (Agence 050), 3, Rue La Boétie, 75008 Paris, no. Compte : 541.08.70, reprezentînd cotizația de membru individual al CIGRÉ pe anul 1990.

În vederea confirmării înscrierii, rugăm persoanele care au avut posibilitatea de a depune această sumă în valută, să comunice acest fapt la Comitetul Național Român al CIGRÉ, pe adresa ICEMENERG, Bd. Energeticienilor, nr. 8, sector 3, 74368 București, pentru luare în evidență și obținerea cărții de membru al CIGRÉ. Menționăm că în contul acestei sume este cuprins și abonamentul la revista lunară „ELECTRA" pe anul în curs.

Totodată, rugăm ca și persoanele care doresc să devină membre individuale ale CIGRÈ, dar nu dispun de posibilitatea de a transmite cotizația în valută la CIGRÈ, să ne facă cunoscută în scris dorința lor, comunicînd la aceeași adresă : numele, adresa, locul de muncă, funcția, număr de telefon, grupa (sau grupele în ordinea de preferință) de specialitate care îi interesează.

În scopul relansării interne a activității CNR al CIGRÉ, avem în vedere convocarea unei ședințe de reconstituire a comitetului, care să aibă loc la sediul CNR al CIGRÉ din București, la ICEMENERG în cursul trimestrului I 1990, data exactă urmînd a fi anunțată ulterior. Pentru pregătirea acestei ședințe, precum și a activității de viitor a CNR al CIGRÉ, solicităm din partea celor interesați propuneri și sugestii scrise. Relații telefonice se pot obține de la ICEMENERG, telefon 21 46 30/int. 233, d-na Lidia Barbu, sau la telefonul 11 37 84 al subsemnatului.

București 24 ianuarie 1990

* Descrierea detaliată a CIGRE apare în „ENERG" vol. 10.

Dr. ing. CĂLIN MIHĂILEANU

Președinte al CNR-al CIGRE

POTLOG, M. D., MIHĂILEANU, C. **Acționări electrice industriale cu motoa e asincrone. Probleme și aplicații pentru ingineri.** Editura Tehnică București, 1989, 240 p.

Recent a apărut o interesantă lucrare dedicată comportării motorului asincron trifazat în acționările industriale. Lucrarea aparține unor reputați cercetători: dr. ing. Călin Mihăileanu și dr. ing. Dorin Marcel Potlog, personalități bine cunoscute în rîndurile electrotehnicienilor și energeticienilor români.

Pornind de la un punct de vedere strict inginerese autorii abordează funcționarea motorului asincron de diferite tipuri și puteri în regimuri staționare sau tranzitorii pe bază de probleme concrete.

Tratarea este unitară în sensul că, după o scurtă și concisă prezentare a modelului matematic complet sau simplificat, se redau formulele principale de calcul, urmate de probleme și, ca o încheiere firească, concluzii practice, utile în înțelegerea fenomenologică și exploatarea curentă.

Problemele propuse și rezolvate nu au caracter didactic, ci servesc cu precădere pentru completarea cunoștințelor obținute în facultate la nivelul necesar unui inginer de concepție. Problemele sînt originale și sînt rezolvate de cele mai multe ori cu ajutorul mijloacelor moderne de calcul. Numeroase programe detaliate de calcul numeric fac parte integrantă din lucrare, ceea ce conferă lucrării o tentă suplimentară de originalitate.

Lucrarea are mai multe părți, fiecare ocupîndu-se cu un anumit aspect al funcționării motorului asincron.

O primă parte se referă la funcționarea în regim permanent în care intervin mărimile funcționale uzuale: tensiuni, curenți, viteză, cupluri ca funcție de alunecare.

O a doua parte cuprinde probleme legate de bilanțul energetic, pornindu-se de la normativele de bilanțuri de puteri active și reactive și folosindu-se atît modelul complet al motorului, cît și cel simplificat. De asemenea, se iau în considerație diferite tipuri curente de mașini de lucru.

O altă categorie de probleme tratează aspecte legate de subîncărcarea motoarelor și efectele înlocuirii acestora prin motoare de putere mai redusă. Se arată că nu întotdeauna se poate accepta înlocuirea, dacă se ține seama de alte condiții, precum cuplul de pornire sau timpul de pornire.

Comportarea motorului asincron la abateri de tensiune și de frecvență ocupă un loc aparte, dîndu-se și formule simplificate pentru cazul unor abateri de tensiune de ordinul $\pm 20\%$ sau al unor abateri de frecvență de $\pm 5\%$.

Pe baza teoriei componentelor simetrice, un alt grup de probleme se ocupă cu comportarea motorului asincron la tensiuni nesimetrice sau la întreruperea unei faze (numai în cazul conexiunii stea).

O parte interesantă și utilă în exploatare abordează determinarea parametrilor motorului asincron, pe baza unui minim de date uzuale și a modelului matematic. În aceeași ordine de idei se situează și determinarea parametrilor mecanici ai acționării, folosindu-se datele experimentale rezultate din încercarea în gol (a acționării) și încercarea în sarcină.

Partea referitoare la determinarea caracteristicilor statice (după părerea noastră atributul „statice" este impropriu) tratînd variația cu alunecarea principalelor mărimi funcționale ar fi mai bine plasată la începutul lucrării.

În sfîrșit, o consistentă parte abordează regimul tranzitoriu. Se dezvoltă atît un model complet, cît și unul simplificat, iar problemele propuse se referă la pornirea și oprirea motoarelor. Ar fi fost interesante și cîteva probleme referitoare la reversare, frînare dinamică sau reconectare după un gol de tensiune sau deconectare intempestivă.

Dată fiind utilizarea tot mai amplă a motorului asincron în acționări reglabile, ar fi fost utile și o parte referitoare la reglarea vitezei (cu și fără convertoare de frecvență), precum și o parte care să prezinte comportarea motorului în regimuri nesinusoidale, care sînt de mare actualitate.

Apărută în colecția „*Probleme și aplicații pentru ingineri*" lucrarea „**Acționări electrice industriale cu motoare asincrone**" este o lucrare utilă, originală, concretă, pe scurt o lucrare reușită.

Prof. dr. ing. AL. FRANSUA

CHIUȚĂ, I. N. și CONECINI I. **Compensarea regimului energetic deformant.** Editura tehnică, București, 1989, 280 p.

Apărută în seria „Electroenergetică" a Editurii Tehnice, lucrarea cu titlul de mai sus constituie un eveniment editorial dedicat unui domeniu de prioritate românească — regimul deformant din sistemele electroenergetice — a cărui fundamentare a fost făcută încă de savantul român acad. C. I. Budeanu și de școala acestuia. Plecînd de la realitatea că problema regimului deformant nu poate fi considerată încheiată din punct de vedere teoretic și mai ales practic, industrial, preocupările în acest domeniu vor trebui să clarifice încă o multitudine de fațete și aspecte de un deosebit interes științific și tehnic. În acest cadru se situează și lucrarea la care ne referim și care cuprinde o însemnată parte din experiența românească și pe plan mondial în acest domeniu.

Cartea este structurată pe cinci capitole și se referă la metodele, procedeele și tehnicile de atenuare a efectelor nocive ale regimului deformant din sistemele electroenergetice.

În **introducere** este încadrată problematica lucrării, făcîndu-se referiri la calitatea energiei electrice și la indicatorii care o caracterizează, așa cum se prezintă astăzi situația în lume.

În **al doilea capitol** al cărții se prezintă laturile fundamentale ale fenomenelor deformante și caracterizarea lor: definiții, metode de studiu, indicatorii regimului deformant, surse și amplificatoare de regim deformant, efectele regimului deformant. În același context sînt prezentate normele referitoare la funcționarea instalațiilor electroenergetice în regim deformant cu referire la țara noastră și la alte țări din lume. Se subliniază aspectele care privesc normativele românești (STAS 1983-65, STAS 1893-72, PE-MEE 143/80 ș.a.) și fundamentarea lor în comparație cu reglementările din alte țări.

Capitolul 3 al lucrării tratează compensarea regimului deformant care, în mod obișnuit, apare concomitent cu cel reactiv și cu cel nesimetric: căile pentru limitarea regimului deformant, procedee de compensare a regimului deformant (compensatorul sincron cu excitație rapidă, compensatorul static cu transductor, bobină comandată cu tiristoare și baterii de condensatoare comutate cu tiristoare). În continuare se prezintă filtrele comandate și instalațiile de compensare statice pentru rețea, cu exemple practice.

În **capitolul 4** al cărții se prezintă și analizează compensarea regimului deformant produs de mutatoare: amplificarea regimului deformant produs de mutatoare, metode de evitare a amplificării regimului deformant, alegerea instalațiilor de compensare a acestui regim produs de mutatoare. Capitolul conține numeroase exemple de calcul care reușesc să îndrume și să edifice cititorul în aplicarea practică, industrială, a metodelor de diminuare a efectelor nefavorabile ale regimului deformant cauzat de mutatoare.

Ultimul capitol al cărții este rezervat compensării regimului deformant produs de cuptoarele electrice cu arc — problemă deosebit de complexă și delicată la ora actuală în sistemele electroenergetice. În conținutul acestui capitol sînt incluse următoarele probleme: dimensionarea instalației de compensare dinamică, calculul filtrelor de armonici, probleme de exploatare a filtrelor. Capitolul conține exemple concrete de calcul de dimensionare și verificare a filtrelor, tratînd foarte detaliat problema filtrelor absorbante și de refulare.

Trecerea în revistă a conținutului lucrării pe care o recenzăm scoate în evidență preocuparea autorilor pentru elaborarea unei monografii cît mai

complete în legătură cu căile, metodele și mijloacele de atenuare a efectelor nefavorabile produse de regimul deformant în rețelele sistemelor electroenergetice, pe baza unor informații ample (85 de referințe bibliografice), dar și pe baza experienței proprii dobîndite în cercetarea acestor fenomene.

Sînt de apreciat, după părerea noastră, eforturile meritorii făcute de autori în sintetizarea și esențializarea aspectelor de fond ale compensării regimului deformant, punînd astfel la dispoziția cititorului interesat un material lucrativ și aplicabil direct în activitatea de proiectare și exploatare a instalațiilor electroenergetice.

Desigur o tratare sistemică a ansamblului sursă de regim deformant — sistem electroenergetic în legătură cu propagarea armonicilor de curent și tensiune în rețelele sistemelor electroenergetice, cum și limitarea perturbațiilor produse în aceste sisteme ar fi putut completa cartea cu încă unele aspecte deosebit de utile. Fără îndoială că implicarea sistemelor teleinformatice în studiul efectelor regimului deformant și compensării acestora constituie, de asemenea, o preocupare curentă a cercetătorilor și inginerilor în acest domeniu cu rezultate ce se dovedesc a fi foarte eficiente.

Dar, așa cum subliniază și autorii, o tratare exahaustivă a problematicii regimului deformant în sistemele electroenergetice — problemă ce va rămîne încă multă vreme deschisă — este greu de realizat. Cartea este fără îndoială o reușită prin contribuția adusă la îmbogățirea literaturii de specialitate și la sublinierea fundamentată a priorității studiilor și cercetărilor românești în acest domeniu. Prin conținutul ei lucrarea se adresează unui cerc larg de specialiști, atît din activitățile de cercetare — proiectare, cît și din producție, inclusiv studenților electroenergeticieni. Îmbinînd în mod fericit aspectele teoretice fundamentale cu cele care privesc latura aplicațiilor practice, cartea se constituie într-un autentic îndrumar pentru specialiștii din domeniu, ceea ce-i va asigura, credem, o bună primire în rîndul publicului cititor.

Ing. ROMULUS SFICHI

LAURENȚIU, P. **Exploatarea centralelor termoelectrice — probleme de siguranță.** Ed. Tehnică, București, 1989

Lucrarea abordează, pornind de la elemente fundamentale de siguranță, un evantai de probleme vizînd siguranța echipamentelor și instalațiilor energetice din centralele termoelectrice.

În **capitolele 1 și 2** autorul dezvoltă elemente și noțiuni prin care sînt fundamentate științific conceptele de siguranță, abordînd din acest punct de vedere echipamentele energetice.

În **capitolul 3** sînt dezvoltate interdependențele și factorii care concură la creșterea fiabilității și disponibilității echipamentelor energetice din etapele de proiectare, fabricație, montaj, exploatare și reparații, a căror înțelegere este înlesnită prin reprezentări schematizate.

Autorul acordă o atenție specială problemelor de siguranță la cazane, abordînd, în **capitolul 4**, probleme specifice oțelurilor pentru cazane și verificărilor care se fac asupra sistemului sub presiune al cazanelor, inclusiv activitățile care se prestează pentru darea cazanelor în exploatare.

Deoarece spargerile de țevi la cazane constituie o problemă, în **capitolul 5** sînt sistematic tratate influențele pornind de la calitatea oțelului în procesul de elaborare a șarjelor pînă la calitatea lucrărilor de reparații, în special la sistemul sub presiune al cazanelor, cauzele posibile ale spargerilor de țevi.

Sînt abordate în continuare **(capitolele 6, 7, 8 și 9)** fenomene specifice care influențează siguranța în exploatare a echipamentelor centralelor termoelectrice. Astfel, în **capitolul 6** este tratată influența regimului de ardere la pornire asupra siguranței cazanului, regimurile de încălzire a tamburului, colectoarelor și conductelor. În **capitolul 7** sînt analizate solicitările la pornirea blocului cazan-turbină cu parametri alunecători, luîndu-se în considerare vitezele admisibile de încălzire, solicitările și eforturile termice.

În **capitolul 8** sînt discutate regimurile tranzitorii în exploatarea blocurilor energetice specifice variațiilor de parametri cu evaluarea tensiunilor termoelastice în cîmpuri de temperatură staționare și variabile. În **capitolul 9** se prezintă implicațiile exploatării instalației de condensație și sub vid asupra siguranței turbinei cu accent pe exploatarea condensatorului, instalațiilor aferente sistemului sub vid și pompelor de condensat de bază.

Siguranța de funcționare a turbinei este tratată și prin prisma profilaxiei sistemului de reglaj al turbinei **(capitolul 10)**, punîndu-se la dispoziție și o metodologie pentru efectuarea probelor de aruncări de sarcină.

Problemele tehnice specifice influenței frecvenței sistemului energetic asupra echipamentelor sînt tratate în **capitolul 11**, iar în **capitolele 12 și 13** sînt tratate unele probleme de siguranță specifice generatoarelor sincrone și instalației de etanșare și alimentare cu H_2 și CO_2 a acestora.

Avînd în vedere complexitatea problemelor de siguranță a echipamentelor energetice, privite prin prisma urmăririi comportării lor în exploatare, autorul evidențiază, în **capitolul 14**, modul de abordare, realizările și nivelul preocupărilor în această direcție, în momentul de față.

Sînt luate în considerare preocupările recente pe plan mondial în domeniul diagnozei agregatelor energetice prin care se urmărește creșterea disponibilității agregatelor energetice **(capitolul 15)**.

Lucrarea se încheie cu precizări și concepte privind pregătirea personalului, activitate de importanță majoră în conducerea proceselor și influențarea siguranței echipamentelor și instalațiilor energetice. Prin modul de structurare, prin conținut și elemente de referință, lucrarea se adresează în primul rînd specialiștilor cu pregătire superioară și medie, care exploatează centrale termoelectrice, dar este utilă oricărui specialist care lucrează în ramura industriei energiei electrice.

Ing. ROȘU ANTON — ICEMENERG

VLAD FOCȘA (1909—1989) La 14 iulie 1989 s-a stins din viață Vlad Focșa, inginer cu o întinsă și variată activitate în domeniul hidroenergetic.

S-a născut la 19.01.1909, la Piatra Neamț, fiul unui profesor de liceu. A făcut studiile medii la Liceul Internat din Iași și la Liceul Spiru Haret din București, după care a urmat renumita Școală Politehnică Federală de la Zürich, obținînd diploma de inginer în construcții hidroelectrice. Și-a completat pregătirea în laboratoare geotehnice și hidraulice la școlile politehnice de la Dresda, Viena și Charlottenburg (Berlin).

Vlad Focșa era bun cunoscător al mai multor limbi străine (franceză, germană, engleză, italiană, spaniolă, rusă, sîrbo-croată), ceea ce l-a ajutat în continua activitate de îmbogățire a cunoștințelor tehnice și în îndeplinirea numeroaselor sarcini ce i s-au încredințat în diverse țări ca: U.R.S.S., Iugoslavia, Cehoslovacia, Elveția, Franța, Italia, Suedia, Anglia, Iran, Mali, Zair.

Bogatele cunoștințe tehnice și calitățile sale de om deosebit l-au făcut foarte util în variatele funcții ce i-au fost încredințate.

Și-a început activitatea la CFR între anii 1932 și 1942, ajungînd șef de serviciu al unei unități de studii a Direcției de Poduri.

O schimbare importantă a intervenit în anul 1942, cînd a fost transferat la Direcția Electrificării, nou înființată în cadrul C.F.R., sub direcția profesorului Dimitrie Leonida. De atunci activitatea sa s-a desfășurat în energetică. Realizările importante în cadrul Direcției Electrificării, pînă în anul 1949, au fost expuse în articolul pe care l-a publicat în revista Energetica, nr. 8/1987.

Din 1949 a luat parte la lucrările de electrificare a României.

Între 1949 și 1951 a activat la Institutul de Studii și Proiectări Energetice — ISPE, ca șef al sectorului hidroenergetic, perioadă în care a participat la proiectarea CHE V. I. Lenin Bicaz, CHE Sadu V și CHE Moroeni.

În perioada 1951—1957 a lucrat la Intreprinderea de Executare de Centrale Hidroelectrice a M.E.E. în calitate de inginer șef al Sectorului Tehnic de Coordonare a execuției CHE V. I. Lenin Bicaz, obiectiv cunoscut și remarcat prin caracteristicile sale.

Între anii 1957—1966 a funcționat în cadrul Institutului de Studii și Proiectări Hidroenergetice — ISPH ca inginer șef al secției de lucrări hidrotehnice pe Dunărea Inferioară, ca șef de proiect al planului general de amenajare completă a Dunării mijlocii și inferioare (în colaborare cu institutele statelor respective) și ca șef de proiect al barajului — Cinces, de pe rîul Cerna.

Din 1966 pînă în 1971 a ocupat, tot în cadrul Institutului de Studii și Proiectări Hidroenergetice — ISPH funcția de inginer consilier și inginer șef al amenajărilor complexe de la Porțile de Fier I, de pe Dunăre, cuprinzînd, partea de navigație și două centrale electrice însumînd 2 100 MW.

Între 1971 și 1974 a lucrat în cadrul Organizației Națiunilor Unite, la Programul Națiunilor Unite pentru Dezvoltare (New-York) și în cadrul Oficiului Federal pentru Ajutor de Dezvoltare, ca director al proiectului complex al instalației de reținere de la Selingué, pe sectorul superior al fluviului Niger (Mali), și conducător al grupului de experți al misiunii pentru proiectul de amenajare și irigare a fluviilor Niger și Senegal (Mali).

Între 1975 și 1980 a lucrat în cadrul Institutului de Studii și Proiectări Hidroenergetice și al Comitetului de Stat al Apelor în calitate de inginer șef al antreproiectului și proiectului amenajării Porțile de Fier II, pe Dunăre.

A desfășurat și activitate didactică în calitate de conferențiar pentru Construcții Hidroelectrice și Energetică la Institutul Politehnic București și Institutul de Construcții București, pînă în anul 1953.

A avut însărcinări de directivare: vice-președinte al Consiliului Tehnic Superior al Ministerului Energiei Electrice și membru în Consiliul de Conducere al Comitetului de Stat al Apelor; de asemenea a fost membru în diferite organizații științifice internaționale și secretar al Comitetului Național Român în Comisia Internațională a Marilor Baraje.

A publicat numeroase articole în țară (îndeosebi în revistele Energetica și Hidrotehnica), precum și în străinătate în periodicele: Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Water Power and Dam Construction, Travaux, Revue Générale de l'Electricité și La Houile Blanche.

Pentru meritele sale a fost distins cu mai multe ordine din partea statului român și cu un ordin din partea statului iugoslav.

Ing. Paul Cartianu — ISPE, **Ing. Alexandru Vasiliu** — ISPH

LOUIS STANISAVLIEVICI (1900 — 1989) S-a stins din viață dr. ing. Louis Stanisavlievici, specialist de înalt nivel științific în domeniul chimiei în energetică. S-a născut la Turnu-Severin, unde a urmat și cursurile liceale, după care a absolvit Facultatea de Chimie a Universității București.

S-a angajat la Societatea de Gaz și Electricitate din București lucrînd în laboratorul de chimie al uzinei Filaret, unde se efectuau analizele chimice pentru toate unitățile întreprinderii. În anul 1940 a preluat conducerea laboratorului.

Intrarea în funcțiune, în 1943, la centrala Grozăvești, a cazanelor Löfler de 130 bar, 500 °C și exploatarea acestora a constituit pentru acea perioadă un salt calitativ tehnic. Rezolvarea problemelor noi legate de tratarea și chimismul apei în centrala Grozăvești a făcut ca ing. L. Stanisavlievici să se afirme, încă din această perioadă, ca specialist în acest domeniu.

După război, ing. L. Stanisavlievici a activat ca specialist coordonator în cadrul Ministerului Energiei Electrice și al Centralei Industriale de Producere și Transport al Energiei Electrice și Termice. Activitatea sa în această perioadă a fost determinată pentru stabilirea concepției în privința regimului chimic al cazanelor, a introducerii tehnologiilor moderne în tratarea apei și a condensatelor, concretizîndu-se prin întocmirea primelor normative de exploatare și manuale de laborator și exploatare.

În paralel cu activitatea de dirijare practică a exploatării pe partea chimică a centralelor, ing. L. Stanisavlievici a elaborat numeroase studii teoretice concretizate prin publicații în reviste de specialitate (Energetica, Mitt. U.G.B., BWK, Combustion, Energie, Wärme), referate la sesiuni științifice din țară și străinătate, precum și publicarea de cărți. Astfel lucrările *Tratarea apei pentru industrii. Breviar*, Ed. Gauthier-Villars, Paris, 1962; *Probleme actuale ale tratării apei și aburului în instalațiile termoenergetice*, Ed. tehnică, București, 1969, împreună cu celelalte trei cărți pe care le-a publicat au constituit un îndreptar pentru chimiștii energeticieni din țara noastră.

După pensionare și-a continuat activitatea ca specialist în cadrul Institutului de Cercetări și Modernizări Energetice pînă în anul 1978, fiind consultat și mai tîrziu în diverse probleme și publicînd lucrări de specialitate.

A fost primul specialist în țară în chimia în energetică, a dezvoltat această ramură, nouă atunci, din cadrul industriei energiei electrice, a îndrumat și a format de-a lungul anilor noi cadre de specialiști în sistemul energetic.

Publicațiile sale (ultimul articol în revista Energetica în anul 1986) au constituit un îndreptar pentru chimiștii energeticieni din țara noastră, aducînd importante contribuții la rezolvarea problemelor actuale de chimie a apelor din centralele electrice.

A fost un model de conștiință, avînd o aleasă ținută, o delicatețe și o politețe care l-au caracterizat toată viața.

Energetica românească pierde un mare specialist în domeniul chimiei.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНТЕРВЬЮ С ГОСПОДИНОМ МИНИСТРОМ АДРИАН ДЖОРДЖЕСКУ 1—3

ЭНЕРГЕТИКА ЭКОНОМИЧЕСКИ ПРЕДПРИЯТИЙ

МАГДАЛЕНА КУЧУРЯНУ, ЖАН КОНСТАНТИНЕСКУ, МАРИО ДУМА, ВАСИЛЕ РУДЖИНЭ, МОНИКА РОШКА, КЭЛИН ДЖИБЯНУ: Концепция и методология единого определения, анализа и учета энергетических расходов, сопутствующих технолгиям, используемым в промышленности, строительстве, на транспорте и в сельском хозяйстве 4—7

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ДАН ТЕОДОРЕСКУ: Модульное программное обеспечение для контроля энергетических процессов 8—15

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МИРЧА РЭДУСЕСКУ, ТЕОДОР ПОПА: Модернизация установки размола и сжигания лигнита в котле 370 т/ч на ТЭЦ Ишальница 16—22

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ВАЛЕНТИН ДЖОРДЖИАН, ПЕТРУ ДАН ЛАЗЭР: Мировая энергетическая проблема и использование гидроэнергетического микропотенциал 23—26

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ТРАЯН ИОНЕСКУ, ЗУДЖЕНИУ ПАВЕЛ: Соображения по поводу нормирования пределов неуравновешенного режима в электроэнергетических системах. 27—33

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКИЕ. ЗАГРЯЗНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

НИКОЛАЕ НИНЭ, МИХАЙ КИРИКЭ: Восстановление в двойном потоке Вионита CS_3, применяемое для воды с повышенной соленостью 34—37

НОВОСТИ

ИЗОБРЕТЕНИЯ -НОВАТОРСТВО 38
ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 7, 33

ИОСИФ ЧЕРВЕНИ: Обзор программы исследований и технологического развития в области энергетики Европейского Экономического Сообщества на период 1989—1990 гг 39—40

ХРОНИКА

ДЖОРДЖЕ МАНОЛЕСКУ, ГЕОРГЕ ЛУКА — Научная сессия ИСПЭ — ИСПХ „Достижения и перспективы в энергетическом прокетировании в Румынии", посвященная 40-летию институтов 41

ОТ НАЦИОНАЛЬНЫХ КОМИТЕТОВ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ 42

РЕЦЕНЗИИ 43—44

ПЕРСОНАЛИ 45

INHALT

INTERVIEW MIT DEM HERRN MINISTER ADRIAN GEORGESCU 1—3

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

MAGDALENA CUCIUREANU, JEAN CONSTANTINESCU, MARIO DUMA, VASILE RUGINĂ, MONICA ROȘCA, CĂLIN GIBESCU: Entwurf und Methodologie zur Definition, Analyse und einheitlicher Buchführung des Energieverbrauchs der Technologien aus der Industrie, dem Transportwesen, dem Bauwesen und der Landwirtschaft 4—7

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER VERBUNDNETZE

DAN TEODOSESCU: Modularisiertes Software zur Prozessüberwachung in der Energiewirtschaft 8—15

WÄRMEKRAFTWERKE

MIRCEA RĂDULESCU, TEODOR POPA: Modernisierung der Lignitmahl-und-verfeuerungsanlage des 370t/h Dampfkessels aus dem Heizkraftwerk Işalnița 16—22

WASSERKRAFTWERKE

VALENTIN GEORGIAN, PETRU DAN LAZĂR: Verwertung des Wasserkraftwerkmikropotentials — eine weltweite Energiefrage 23—26

ELEKTRISCHE NETZE

TRAIAN-G. IONESCU, EUGENIU PAVEL: Betrachtungen zur Normierung der Grenzwerte des unausgeglichenen Regimes der Elektroenergienetze 27—33

CHEMISCHE TECHNOLOGIEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT. UMWELTSCHUTZ

NICOLAE NINĂ, MIHAI CHIRICA: Regenerierung in Doppeltkreislauf des Vionits CS_3 angewandt bei Gewässer mit hohem Salzgehalt 34—37

NEUIGKEITEN

ERFINDUNGEN-NEUERUNGEN 38
ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 7, 33

IOSIF CSERVENY: Synthese des Forschungs-und technologischen Entwicklungsprogrammes für Energiewirtschaft der Europäischen Gemeinschaft für 1989—1992 39—40

CHRONIK

GEORGE MANOLESCU, GHEORGHE LUCA: Die wissenschaftliche Tagung des Instituts für Studien und Entwürfe in der Energiewirtschaft (ISPE) und des Instituts für Studien und Entwürfe in der Hydroenergiewirtschaft (ISPH) „Errungenschaften und Aussichten in der rumänischen energiewirtschaftlichen Entwurfstätigkeit" gewidmet dem 40. Jahrestag seit der Gründung der beiden Institute 41

VON DES NATIONALKOMITEES DER INTERNATIONALEN ORGANISATIONEN GIGRE 42

BUCHBESPRECHUNGEN 43—44

DE PERSONIS 45

SOMMAIRE

UNE INTERVIEW ACORDÉE PAR MONSIEUR LE MINISTRE ADRIAN GEORGESCU 1—3

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

MAGDALENA CUCIUREANU, JEAN CONSTANTINESCU, MARIO DUMA, VASILE RUGINĂ, MONICA ROȘCA, CĂLIN GIBESCU: Conception et méthodologie de la définition, de l'analyse et de l'évidence unitaire des consommations énergétiques particulières aux technologies de l'industrie, du transport, des constructions et de l'agriculture 4—7

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

DAN TEODOSESCU: Software modulaire pour la surveillance des procès énergétiques 8—15

CENTRALES THERMIQUES

MIRCEA RĂDULESCU, TEODOR POPA: Modernisation de l'installation de broyage et de combustion du lognite de la chaudière de 370 t/h de la centrale électrothermique Işalnița 16—22

CENTRALES HYDRAULIQUES

VALENTIN GEORGIAN, PETRU DAN LAZĂR: Le problème énergétique mondial et la mise en valeur du micropotentiel hydroénergétique 23—26

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

TRAIAN-G. IONESCU, EUGENIU PAVEL: Considérations concernant la normalisation des limites du régime déséquilibré dans les systèmes électroénergétiques 27—33

TECHNOLOGIES CHIMIQUES. COMBAT CONTRE LA POLLUTION

NICOLAE NINĂ, MIHAI CHIRICA: Régénération en flux double du Vionit CS_3 appliquée aux eaux à haute salinité 34—37

NOUVEAUTÉS

INVENTIONS-INNOVATIONS 38
L'ENERGIE DANS LE MONDE 7, 33

IOSIF CSERVENY: Synthèse du programme de recherche et du développement technologique de la Communauté Européene dans le domaine de l'énergétique pour la période 1989—1992 39—40

CHRONIQUE

GEORGE MANOLESCU, GHEORGHE LUCA: La session scientifique ISPE-ISPH „Les réalisations et les perspectives de la conception énergétique roumaine" dédiée au 40ème anniversaire de la fondation de ces deux instituts 41

DE LA PART DES COMITÉS NATIONAUX DES ORGANISATIONS INTERNATIONALES CIGRE 42

COMPTE-RENDUS 43—44

DE PERSONIS 45

CONTENTS

AN INTERVIEW WITH THE MINISTER ADRIAN GEORGESCU 1—3

ENERGY IN THE ENTERPRISES

MAGDALENA CUCIUREANU, JEAN CONSTANTINESCU, MARIO DUMA, VASILE RUGINĂ, MONICA ROȘCA, CĂLIN GIBESCU: Concept and Methodology for the Definition, Analysis and Unitary Accounting of Energy Demands of Technologies from Industry, Transportations, Constructions and Agriculture 4—7

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

DAN TEODOSESCU: Module-structured Software for Energy Processes Monitoring 8—15

THERMAL POWER PLANTS

MIRCEA RĂDULESCU, TEODOR POPA: Modernizing Lignite Milling and Burning Installations at the 370 t/h Boiler of the Işalnița Heat and Power Plant 16—22

HYDROELECTRIC POWER PLANTS

VALENTIN GEORGIAN, PETRU DAN LAZĂR: The Worldwide Energy Problem and Hydropower Micropotential Use 23—26

ELECTRIC NETWORKS

TRAIAN-G. IONESCU, EUGENIU PAVEL: Considerations Regarding Power Grids Unbalanced Regime Limits Rating 27—33

CHEMICAL TECHNOLOGIES IN ENERGY. ENVIRONMENTAL PROTECTION

NICOLAE NINĂ, MIHAI CHIRICA: Double Flow Regeneration of Vionit CS_3 Applied at High Salinity Waters 34—37

NEWS

INVENTIONS-INNOVATIONS 38

ENERGY WORLDWIDE 7, 33

IOSIF CSERVENY: Synthesis of the Technological Energy Research and Development Programme of the European Community for 1989—1992 39—40

CHRONICS

GEORGE MANOLESCU, GHEORGHE LUCA: Scientific Symposium of the Energy Studies and Design Institute (ISPE) and the Hydropower Studies and Design Institute (ISPH) "Achievements and Trends in Romanian Energy Design" on the Occasion of the 40-th Anniversary of These Institutes 41

FROM THE NATIONAL COMMITTEES OF INTERNATIONAL ORGANIZATIONS CIGRE 42

REVIEWS 43—44

DE PERSONIS 45

Instituţiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — — BN R.S.R. fil. sector 3 sau direct la redacţie. Costul unui abonament : 144 lei anual ; costul unui exemplar : 12 lei.

Redacţia şi administraţia : Bucureşti 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon : 20.67.30

Elaboratorii de lucrări propuse spre publicare sînt rugaţi să consulte *Îndrumările pentru întocmirea şi prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica* şi *Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica* apărute în nr. 12/1986, precum şi *Planul tematic al revistei Energetica* apărut în nr. 5/1987.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA – sectorul import-export, P.O. Box 12–201, telex 10376 prsfir, Calea Griviţei nr. 64–66, Bucureşti – România.**

Tiparul : „Universul", Bucureşti,
str. Brezoianu 23–25 c. 1757

Vă informăm:

Primim din partea d-lui profesor Z. Kowalski, copreședinte al comitetului de organizare al celui de al 4-lea simpozion internațional cu tema „Curenți de scurtcircuit în sistemele electroenergetice", anunțul de mai jos :

Comitetul Științific Internațional de Organizare a celui de al 4-lea simpozion cu tema „Curenții de scurtcircuit în sistemele electroenergetice" vă informează cu plăcere că :

1 — simpozionul se va ține în zilele de 3—4 septembrie 1990, în Palais des Congrès din Liège — Belgia ;

2 — în timpul simpozionului vor fi prezentate 62 de referate alese din mai mult de 100 lucrări primite din 20 țări.

NOTA. Pentru participanții din țările Europei de Est, organizatorii garantează condiții financiare favorabile, adică reducerea la minimum a taxelor și a cheltuielilor de cazare și masă.

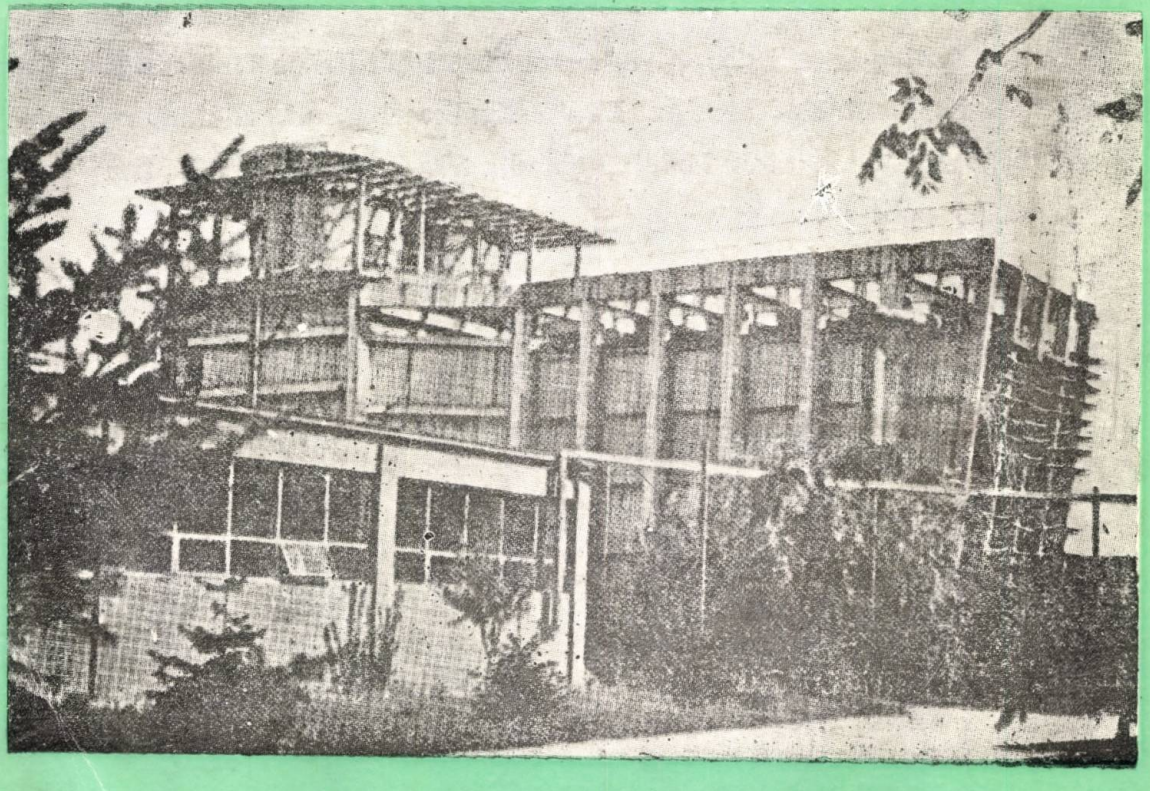
Pentru detalii sînteți rugați să luați legătura cu University of Lodź. Institut of Electric Power Engineering, ul. Stefanowskiego 18/22, 90—924 Lodź, Poland, tel. 48/42 36.11.93, tlx. 886136 polit pl.

ICEMENERG

INSTITUTUL DE CERCETĂRI
ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

ICEMENERG, PRIN LABORATORUL DE CERCETĂRI HIDROENERGETICE realizează cercetări de laborator şi teren elaborînd soluţii pentru :

- proiectarea şi exploatarea instalaţiilor componente ale circuitelor hidro tehnice din CTE, CET şi CNE :
  - Stabilirea performanţelor şi optimizarea instalaţiilor componente ale circuitelor hidrotehnice
  - Elaborarea metodologiilor de optimizare a exploatării circuitelor hidrotehnice în condiţii de restricţii ;
  - Cercetări în domeniul instalaţiilor de răcire (turnuri, lacuri etc.) şi a instalaţiilor de captare, transport şi evacuare a apei.
  - Cercetări în domeniul poluării termice şi a utilizării apelor reziduale la menţinerea şenalelor navigabile pe timp de iarnă.
- exploatarea centralelor hidroelectrice şi microhidrocentralelor :
  - Stabilirea performanţelor şi optimizarea funcţionării grupurilor şi centralelor hidroelectrice ;
  - Sisteme de protecţie a centralelor hidroelectrice în vederea funcţionării cu siguranţă sporită a hidroagregatelor (instalaţii debitmetrice, reglaj funcţie de cădere, protecţii la spargerea conductei forţate) ;
- exploatarea şi gospodărirea apelor în bazinele amenajate energetic şi a folosinţelor energetice :
  - Analize de bilanţ şi prognoze hidroenergetice ;
  - Studii de gospodărire a apelor şi de implementare a instalaţiilor debitmetrice la folosinţe energetice ;
  - Soluţii debitmetrice noi.



E 2039

MW 2

1990 -09- 03

Cuprins

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

VASILE RUGINĂ, MARIA APOLZAN, MARILENA MĂIEREANU, EMIL COSTIN: **Aspecte privind calculul energiei necesare pentru producerea oțelului** 49—53

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

HORIA MĂRIEȘ: **Stadiul actual și tendințe în introducerea sistemelor numerice în echipamentele de protecție din stațiile electrice** 54—61

REȚELE ELECTRICE

HERMINA ALBERT: **Reducerea pierderilor de putere și energie electrică în transformatoare — o problemă deosebit de actuală** 62—66

ILIE POPESCU, DUMITRU BĂRBULESCU, IUSTINA ZAHARIA, NICOLAE SUFLEȚEL: **Determinarea impedanței și circulației curenților armonici într-o rețea funcționînd în regim deformant** 67—72

EMANOIL COCOȘ: **Controlul energetic al regimului deformant** 72—76

SURSE NOI

GRIGORE POP, GAVRIL MUSCA, CORNELIA CIOBANU, AUREL MILEA, CRISTIAN TEODORESCU: **Gazul de sinteză — sursă de materii prime și energie** 77—80

TEHNOLOGII CHIMICE ÎN ENERGETICĂ. POLUARE

VALENTINA BĂLAN: **Introducerea modelelor matematice în vederea depistării cauzelor și reducerii diferenței valorilor puterii calorifice între probele recepție și consum cazan în termocentrală** 81—86

MIHAIL CECLAN, RODICA ELENA CECLAN, MIRCEA DAMIAN, ION STIGER: **Programe de calcul pentru dimensionarea și verificarea instalației de tratare a apei de adaos pentru cazane de abur din centrale termice și termoelectrice** 87—90

NOUTĂȚI

CRONICĂ 61

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 53, 91—92

RECENZII 93—94

energetica

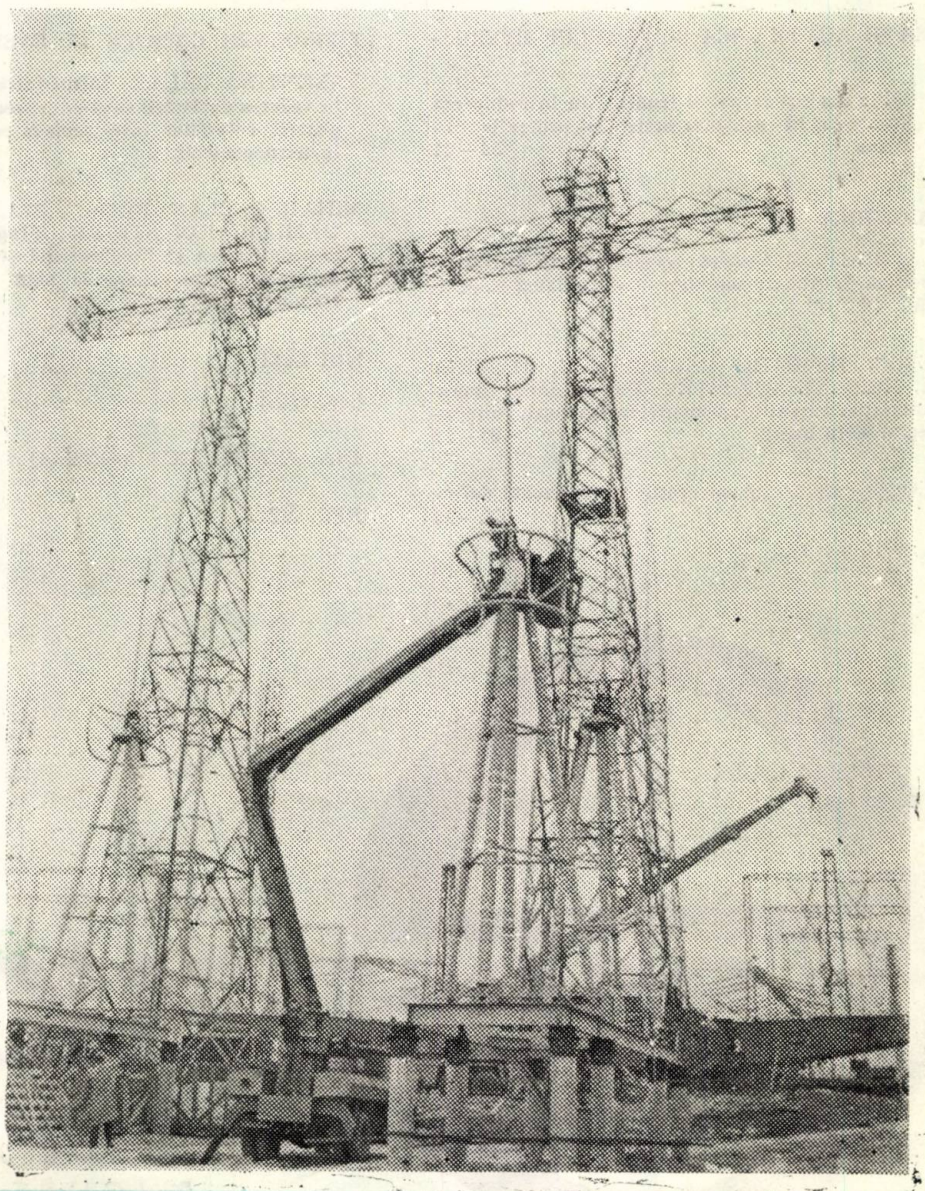
VOLUMUL XXXVIII
BUCUREȘTI
FEBRUARIE 1990

TRUSTUL ELECTROMONTAJ

TRUSTUL "ELECTROMONTAJ"
Bucureşti, sect. 2, calea Moşilor nr. 158, telefon 16.63.30

TRUSTUL "ELECTROMONTAJ" Bucureşti execută prin unităţile sale de construcţii :

1 - Linii electrice aeriene de foarte înaltă tensiune 220 - 750 kV
2 - Linii electrice aeriene de înaltă şi medie tensiune 6 - 110 kV
3 - Lucrări de joasă tensiune
4 - Linii electrice în cabluri subterane şi subfluviale de 1-110 kV
5 - Reţele electrice pentru tramvaie şi troleibuze
6 - Staţii electrice de transformare şi conexiuni 6-750 kV
7 - Posturi de transformare şi puncte de alimentare
8 - Microhidrocentrale şi centrale hidroelectrice de mică putere
9 - Demontări linii electrice aeriene 0,4 - 400 kV
10 - Reparaţii pentru lucrările de la poz. 1-8



La executarea instalaţiilor electrice TRUSTUL "ELECTROMONTAJ" foloseşte tehnologii moderne de mare productivitate, care conduc la durate scurte de execuţie şi la un înalt nivel calitativ al lucrărilor.

1990 SEP 1 21

ENERGETICA

REVISTĂ DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

Anul 38 Nr. 2 februarie 1990

Energetica în unităţile economice

Aspecte privind calculul energiei necesare pentru producerea oţelului

Ing. VASILE RUGINĂ, ing. MARIA APOLZAN, ing. MARILENA MĂIEREANU, dr. ing. EMIL COSTIN*

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖZPONTI KÖNYVTÁR 1983

Descriptori: fabricarea oţelului, consumuri energetice specifice

Siderurgia reprezintă unul din cei mai importanţi consumatori de energie din ţările industrializate, şi anume 7,5% din totalul consumului de energie primară la nivel naţional şi 18—20 % din consumul de energie în industrie. Pentru a fi caracterizată cantitativ energointensivitatea produselor finite comercializabile (de regulă, laminate) din această ramură industrială, se utilizează indicatorul de consum specific cumulat de energie. În lucrare se prezintă etapele tehnologice parcurse pentru obţinerea produselor finite, consumurile specifice de energie aferente fiecărei etape şi consumul specific cumulat pentru produsele finale (laminate la cald).

Se prezintă valori ale consumurilor specifice cumulate pentru laminate la cald şi posibilităţile existente de reducere a energointensivităţii acestui produs. Aceste valori variază în limite largi — de la 19900 MJ/t în Japonia, la 40434 MJ/t în Mexic. În toate cazurile însă energia specifică cumulată este mai mare decît cea care ar putea fi realizată prin utilizarea exclusivă a celor mai bune tehnologii existente (17300 MJ/t).

Metal working industry is one of the most important power users of industrialized countries, i.e. 7.5% of the total primary national power consumption and 18—20% of the energy demand in industry. For a quantitative evaluation of finite (rolled) ready for selling products power consumption within this industrial branch, the cumulated specific power demand indicator is used. Technological manufacturing stages for finite products, specifical power consumptions for every stage and specific cumulated demand for final (hot-rolled) products are presented in this paper.

Values of specific cumulated power demand for hot rolled products and existing possibilities for reducing the energointensiveness of this product are presented. These values vary within large limits, from 19900 MJ/t in Japan to 40434 MJ/t in Mexico. In all cases, the specific cumulated energy is larger than the one to be obtained by exclusive use of best existent technologies (17300 MJ/t).

În prezent producţia mondială de oţel a depăşit 600 milioane tone. În tabelul 1 sînt prezentate cîteva din principalele ţări producătoare, precum şi producţiile realizate în 1984.

Producţia siderurgică reprezintă unul din cei mai importanţi consumatori de energie în ţările industrializate. În aceste ţări, siderurgia consumă, în medie, 7,5% din totalul de energie primară la nivel naţional şi 18—20% din consumul de energie în industrie, cu observaţia că în ultimii ani această pondere a înregistrat o anumită scădere. Aceasta se datorează atît limitării dezvoltării producţiei de oţel (în unele cazuri chiar scăderii acesteia), cît şi reducerii consumurilor specifice de energie pentru producerea oţelului. Tabelul 2 prezintă ponderea consumului de energie în siderurgie în consumul total de energie al industriei, pentru cîteva ţări industrializate, pentru anii 1973 şi 1982. Se estimează că ponderile valabile la nivelul anului 1982 nu s-au modificat substanţial în ultimii ani.

Consumurile specifice de energie înregistrează o tendinţă accentuată de scădere, indiferent de evoluţia producţiei, în toate ţările. Întrucît oţelul se obţine în urma unei succesiuni de procese tehnologice distincte, fiecare cu consumul său specific de energie, energointensivitatea acestui produs este dată de consumul specific cumulat care dă valoarea totală a energiei incluse în tona de oţel.

În continuare vor fi descrise principalele etape tehnologice parcurse pînă la obţinerea unor pro-

* Ing. Vasile Rugină, ing. Maria Apolzan — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, ing. Marilena Măiereanu, dr. ing. Emil Costin — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, Bucureşti.

Tabelul 1

Țara	Producția [10^6 t]	Ponderea tehnologiilor [%]		
		Convertizor	Siemens Martin	Electric
U.R.S.S.	155	32	57	11
Japonia	105,6	72	—	28
S.U.A.	84,5	57	9	34
R.P. Chineză	43,4	—	—	—
R.F.G.	39,4	—	—	—
Franța	19	80	—	20
Polonia	16,3	44	42	15
Marea Britanie	15,2	70	—	30
Cehoslovacia	15,2	27	64	9
România*	13,8	46	30	24

Sursa: Over, J.A., Van Buuren, J. *Energy and the iron and steel production* — Conferința Mondială a Energiei, Cannes 1986.

* Valoare 1987 din Anuarul Statistic.

Tabel 2

Țara	Ponderea [%]	
	1973	1982
S.U.A.	17	13
Japonia	33	26
R.F.G.	29	25
Franța	22	17
Marea Britanie	21	14
Italia	15	18
Canada	12	13

SURSA: Over, J.A., Van Buuren, J. *Energy and the iron and steel production.* Conferința Mondială a Energiei, Cannes 1986.

duse finite comercializabile (de regulă laminate) și consumurile de energie necesare :

— Extracția minereului de fier și prelucrarea acestuia în vederea obținerii unui concentrat cu un conținut de 65% fier. În mod frecvent, țările posesoare de zăcăminte de minereu de fier diferă de țările producătoare de oțel. Consumurile de energie pentru obținerea minereului și concentratului se înregistrează astfel, adesea, în alte țări decît cele în care are loc prelucrarea. În aceste condiții la determinarea consumului cumulat de energie pentru oțel unii autori nu iau în calcule energia consumată în această fază [1, 2]. Ea poate fi însă considerată de autori din țări posesoare atît de minereu, cît și de industrie prelucrătoare — cazul U.R.S.S. [3]. Energia consumată în această fază este de circa 1,5 GJ/t minereu (0,051 tc.c./t cocs).

— Transportul minereului concentrat se face, de regulă, pe cale maritimă (în special în cazul relațiilor import-export) și, uneori, pe cale ferată (în interiorul aceleiași țări). În calculul consumului energetic, consumul aferent transportului poate fi considerat distinct, neglijat sau inclus în etapele adiacente.

— Aglomerarea reprezintă etapa în care amestecul de minereu de fier, cocs și substanțe aditive este adus într-un timp scurt într-o stare semilichidă. Rezultă un produs omogen care după răcire, este concasat și sortat. Energia necesară este de circa 2 GJ/t aglomerat (0,068 tc.c./t).

— Peletizarea reprezintă procesul prin care minereul este măcinat și amestecat cu aditivi în mediu umed. Se formează astfel pelete, care sînt apoi uscate. Procesul necesită circa 1,5 GJ/tona pelete (0,051 tc.c./t).

— Prepararea cocsului : cocsul este utilizat în procesele de aglomerare sau peletizare și pentru reducerea minereurilor în furnale; el se prepară prin încălzirea cărbunilor cocsificabili în mediu sărac în oxigen și stingerea cu apă sau gaze inerte. Consumul net de energie al acestei faze este de 4—5 GJ/tona de cocs (0,135—0,170 tc.c./t).

— Prepararea fontei are loc în furnale. Materiile prime sînt introduse în furnal unde se insuflă aer fierbinte și se reglează reducerea minereului. În medie consumul pentru această fază poate fi estimat la 14 GJ/tona fontă (0,48 tc.c./t fontă).

— Producerea oțelului brut : fonta are un procent de carbon relativ ridicat, care se elimină în instalații de producere a oțelului. Aproximativ 55% din producția mondială de oțel este obținută prin procedeul cu convertizor, la care consumul de energie este de 0,5 — 1 GJ/tona oțel (0,017 — 0,034 tc.c./t oțel). Circa 25% din producția mondială de oțel se obține încă în cuptoare Siemens-Martin. Consumul specific de energie pentru acest procedeu este de 4 GJ/t oțel (0,135 tc.c./t oțel). Un procedeu distinct, în care materia primă utilizată este în principal fierul vechi, este procedeul electric. Pentru acest procedeu, consumul specific de energie este de circa 6 GJ/t oțel (0,205 tc.c./t oțel) din care circa 550 kWh/t oțel (0,197 tc.c./t oțel) energie electrică (valoare medie în țările dezvoltate).

— Producerea de semifabricate : oțelăriile produc oțel lichid. Pentru obținerea semifabricatelor este necesară transformarea oțelului lichid în sleburi apte a fi prelucrate pe laminor. Metoda modernă este turnarea continuă, care produce sleburi direct din oțelul lichid, cu un consum specific de energie de circa 0,2 GJ/t sleb (0,01 tc.c./t sleb). Această metodă înlocuiește vechea metodă a turnării în lingouri, răcire, tăiere, reîncălzire și laminare în laminoare slebing cu un consum specific de energie de circa 1,5—2 GJ/t sleb (0,051 — 0,1 tc.c./t sleb).

După obținerea sleburilor, se pot fabrica :
— tablă laminată la cald;
— tablă laminată la rece; etc.

În general, calculele de energie înglobată în oțel se fac pînă la nivel de tablă laminată la

cald, considerat produsul cel mai omogen al unui combinat siderurgic.

Institutul internațional pentru fier și oțel a efectuat un studiu și o anchetă în cîteva țări dezvoltate și în curs de dezvoltare, privind energia înglobată într-o tonă de tablă laminată la cald. Determinările au fost făcute în următoarele condiții :

— au fost neglijate consumurile energetice aferente extracției și îmbogățirii minereurilor, transporturilor materiilor prime, producerii materialelor refractare ; au fost luate în considerare doar consumurile pe fluxul direct de producere a oțelului ;

— în cazul în care există două tehnologii care realizează practic aceeași operație, fiecare a fost luată în considerare cu ponderea respectivă ;

— puterile calorifice ale combustibililor, respectiv conținutul energetic al diferiților agenți energetici, luate în considerație au fost următoarele :

— cărbune (uscat) : 31,3MJ/kg (1,072 tc.c./t);
— cocs : 30,5 MJ/kg (1,041 tc.c./t) ;
— gudron : 36,0 MJ/kg (1,228 tc.c./t) ;
— benzină, țiței, petrol : 41,9 MJ/kg (1,430 tc.c./t) ;
— propan, butan : 46,9 MJ/kg (1,600 tc.c./t) ;
— energie electrică : 10,5 MJ/kWh (0,358 kgc.c./kWh) ;
— oxigen : 7,8 MJ/m³ (0,266 kgc.c./m³ *; 0,743 kWh/m³*)
— aer comprimat : 1,3 MJ/m³* (0,044 kgc.c./m³ *; 0,123 kWh/m³ *) ;
— abur : 3,6 MJ/kg (0,123 tc.c./t).

Rezultatele privind energia înglobată sînt prezentate în continuare :

— Japonia : 19,9 GJ/t (0,679 tc.c./t) ;
— Franța : 24,3 GJ/t (0,829 tc.c./t) ;
— Marea Britanie : 26,7 GJ/t (0,911 tc.c./t) ;
— Brazilia : 25,2 GJ/t (0,860 tc.c./t) ;
— Cehoslovacia : 25,7 GJ/t (0,877 tc.c./t) ;
— India : 30,5 GJ/t (1,041 tc.c./t) ;
— Mexic : 40,4 GJ/t (1,378 tc.c./t) ;
— Olanda : 22,9 GJ/t (0,781 tc.c./t) ;
— S.U.A. : 23,7 GJ/t (0,809 tc.c./t) ;
— Polonia : 28,0 GJ/t (0,955 tc.c./t).

În paralel, specialiștii institutului au efectuat un studiu privind consumurile minime care ar putea fi înregistrate utilizînd tehnologiile cele mai eficiente energetic existente în prezent. Rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3

Instalație	Produs	kg produs/t tablă	MJ/t produs	MJ/t tablă
Instalație de cocsificare	cocs	416,5	4536	1889
Instalație de aglomerare minereu	aglomerat	991,5	1707	1693
Instalație peletizare	pelete	440,4	1256	553
Furnal	fontă brută	886,1	12416	11001
Convertizor cu oxigen	oțel brut	1070,0	—22	—24
Instalație de turnare continuă	sleburi	1027,0	273	280
Laminor de tablă la cald	tablă	1000,0	1900	1900
Total				17293

Rezultă că energia înglobată în tabla laminată la cald, determinată în ipotezele de calcul menționate, variază în limite largi, de la 19900 MJ/t (0,679 tc.c./t) în Japonia la 40434 MJ/t (1,38 tc.c./t) în Mexic. În toate cazurile însă energia înglobată este mai mare decît cea care ar putea fi utilizată prin producerea oțelului, exclusiv cu cele mai bune tehnologii cunoscute (17293 MJ/t, respectiv 0,590 tc.c./t).

Un studiu interesant privind energia înglobată în oțel a fost efectuat la Forschungesstelle für Energiewirtschaft din München, în cadrul unui contract cu Comisia Pieței Comune pentru mase plastice.

Au fost determinate distinct consumurile cumulate de energie pentru tabla obținută din oțelării cu turnare continuă și din oțelării cu turnare gravitațională și laminor slebing. S-a considerat doar procedeul de insuflare de oxigen (cu convertizor) pentru elaborarea oțelului, procedeul Siemens Martin fiind practic abandonat în R.F.G.

Consumul de energie pentru extragerea și îmbogățirea minereului a fost neglijat, dar s-a luat în considerație energia pentru transportul unor materiale auxiliare (în primul rînd calcarul) care se produc pe plan intern.

Tabelul 4 prezintă valorile de consum specific cumulat pentru o tonă de tablă laminată la cald. Diferențele care apar la faze similare se datorează faptului că, în conformitate cu datele prezentate de autori, la instalațiile clasice sînt necesare 1,159 tone oțel lichid pentru o tonă de sleburi, iar la instalațiile cu turnare continuă, doar 1,029 tone.

* m³ în condiții normale de temperatură și presiune

Tabel 4

Denumire fază	Turnare gravitațională			Turnare continuă		
	Energie electrică [kWh]	Combustibil [MJ]	Total [MJ]	Energie electrică [kWh]	Combustibil [MJ]	Total [MJ]
Obținere și transport materii prime	38	322	721	34	254	611
Transport intern, măcinare, concasare	6	—	63	5	—	52
Aglomerare minereu	24	1622	1874	22	1414	1645
Elaborare fontă în furnal	102	11566	12637	91	10279	11234
Turnare gravitațională și laminor slebing	36	1040	1418	—	—	—
Turnare continuă	31	150	475	—	—	—
Laminare la cald	90	1675	2620	90	1675	2620
Consumuri indirecte	41	2701	3131	39	2588	2997
Total consum brut	390	18926	32020	359	13360	20128
Recuperări	—	900	900	—	800	800
Total consum net	390	18026	22120	359	15560	19328

Comparînd tabelul 4 cu cele precedente, se remarcă faptul că autorii germani iau în considerație consumurile de energie pentru obținerea și transportul materiilor prime, precum și consumurile indirecte, dar nu apare consumul aferent cocseriilor. Se poate presupune că aceste aspecte se compensează reciproc, iar valorile totale din tabelul 4 pot fi comparate cu cele din tabelele anterioare.

Tabla laminată la cald este laminată în continuare, obținîndu-se tabla laminată la rece (tablă subțire). Consumul direct pentru această fază este de 150 kWh energie electrică și 1045 MJ combustibil (în total : 2620 MJ) pentru o tonă de tablă. Pentru obținerea unei tone de tablă laminată la rece se consumă 1,10 tone tablă laminată la cald. Se poate deci determina cu ușurință energia înglobată într-o tonă de tablă subțire. Aceasta este de 26952 MJ energie primară (din care 579 kWh energie electrică și 20875 MJ combustibil) pentru tablă din oțel obținut în instalații cu turnare gravitațională și 23881 MJ energie primară (din care 545 kWh energie electrică și 18161 MJ combustibil) pentru tablă din oțel obținut în instalații cu turnare continuă.

Reducerea energiei înglobate în oțel și în produsele din oțel este una din problemele cheie ale conservării energiei, pe de o parte, și ale acestei ramuri industriale, pe de altă parte, iar potențialul existent este foarte mare. O primă direcție constă în generalizarea tehnologiilor moderne, aplicate deja pe scară largă în unele țări. Astfel, în unele țări CAER, în India, China etc., oțelăriile tip Siemens Martin asigură încă producerea a 50 — 60% din cantitatea totală de oțel, deși ele au dispărut aproape complet din Europa occidentală.

Generalizarea instalațiilor de turnare continuă a oțelului constituie, de asemenea, o tehnologie modernă, cu eficiență ridicată. Arderea în furnale a unei anumite cantități, limitate, de hidrocarburi (păcură) duce la o reducere substanțială a consumului de cocs și implicit la reducerea energiei înglobate în tona de oțel.

O a doua direcție constă în recuperarea avansată a resurselor energetice recuperabile, care se produc în cantități foarte mari în această ramură industrială. Au fost obținute realizări importante, dar există încă pierderi de energie care ar putea fi recuperate. În această categorie intră căldura fizică a substanțelor solide (a aglomeratului, a produselor calde din fontă și oțel etc.) și căldura apelor de răcire care se pierd. Astfel, o tonă de laminate de 900—1500°C degajă în mediu 635—740 MJ pînă la răcire la temperatura mediului, căldură care ar putea fi recuperată și utilizată.

Pe plan mondial, se accentuează ideea necesității cercetărilor pentru găsirea unor posibilități de utilizare a surselor noi și reînnoibile. Investițiile necesare în siderurgie sînt încă mari, iar viitorul imediat pe piața oțelului este incert, ceea ce face ca investitorii să fie foarte prudenți. Specialiștii în prognoze din cadrul CEE—ONU estimează că americanii vor atinge actualul nivel de eficiență al Japoniei doar după anul 2010, iar U.R.S.S., China și India după anul 2050.

În țara noastră sînt în curs de realizare programe de cercetare-dezvoltare și progres tehnic în domeniul siderurgiei. Realizarea acestora va trebui să ducă într-un interval scurt de timp la atingerea, și în această ramură industrială, a unor performanțe comparabile cu cele mai bune performanțe mondiale.

Țara noastră se înscrie deja printre marii producători de oțel ai lumii din punctul de vedere al consumului pe cap de locuitor. Este necesar să ocupăm unul din primele locuri și din punctul de vedere al consumului specific de energie pe tona de oțel.

Bibliografie

[1] * * * *Ermittlung des kumulierten spezifichen Energieaufwandes zur Herstellung von Weissblechäbehältern.* Studiu — Farschungstelle für Energiewirtschaft, München, 1986.

[2] Schaefer, H. *Kumulierten Energieverbrauch von Produkten. Methoden der Ermittlung-Probleme der Bervertung.* Brennst — Wärme — Kraft, nr. 7/1982, p. 337—344.

[3] * * * *An efficient energy future: prospects, for Europa and North America; United Nations Economic Comission for Europe.* Butterworths London, p. 45—70.

[4] Over, J.A., Van Buuren, I. *Energy and the iron and steel production.* Conferința Mondială a Energiei, Cannes, 1986.

(Primit la 26 iunie 1989, acceptat la 10 august 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

SCENARIUL — METODĂ DE PROGNOZĂ ÎN ENERGETICĂ — APLICATĂ PE CAZUL ELVEȚIEI

Dezvoltarea tehnicii și tehnologiilor moderne legate de energetică, care să răspundă în modul cel mai complet cerințelor acesteia este posibilă numai cu condiția cunoașterii depline a tendințelor și legităților acestui proces de dezvoltare.

Scenariul constituie, în acest context, calea probabilă de dezvoltare, direcționată pe un scop precis, a tendințelor care se desprind din analiza științifică a esenței problemei. În noțiunea de prognoză se include analiza obiectivă și cît mai completă posibil, atît a scenariilor-cheie (de bază), cît și a efectelor, consecințelor probabile (posibile) ale dezvoltării acestui proces.

Este necesar ca prognoza să cuprindă cîteva scenarii de același tip, care să permită obținerea rezultatelor căutate prin prognoză. Condiția fundamentală pentru succesul unei prognoze în energetică o constituie evaluarea corespunzătoare a factorilor economici (forța de muncă, investițiile, nivelul de dezvoltare a producției, prezența materiilor prime etc.). Dezvoltarea factorilor economici este posibilă numai în condițiile dezvoltării corespunzătoare a nivelului tehnic și ale unor reale posibilități de producere și livrare a echipamentelor și mașinilor la scară industrială. În acest proces un loc important îl ocupă producerea unor astfel de mașini electrice și de aparate pentru uz casnic, încît acestea să permită economii mari de energie electrică.

Prognoza trebuie să cuprindă în mod obligatoriu și dezvoltarea ramurilor industriale, precum și cerințele de energie electrică și termică a acestora.

Considerațiile de mai sus constituie o sinteză a articolului publicat de Spreng D. în revista elvețiană „Bull. Schweiz. electrotechn. Ver”., 1988, 79, nr. 10, în limba germană.

Ca o aplicație a metodei scenariilor, descrisă mai sus, aceeași revistă publică, în același număr, un alt articol, semnat de Schmidt H. L. Acesta arată că, după Cernobîl, a apărut necesitatea revizuirii scenariului de dezvoltare (SD) anterior, drept pentru care un grup de experți a elaborat cîteva grupe de noi SD ale energeticii Elveției, la orizontul de prognoză — anul 2025, cu luarea în considerare a opiniei publice pe baza unor referendumuri. În aceste scenarii s-a inclus posibilitatea creșterii prețurilor la purtătorii de energie și în special la țiței.

Într-unul din scenarii s-a prevăzut dezvoltarea energeticii nucleare pînă la o putere totală de 6200 MW, în anul 2025 (față de 2900 MW în 1985), cu o ponderе în balanța termoenergetică a țării de 55 %.

În ansamblu, în scenariile de dezvoltare s-a luat în considerare o creștere nesemnificativă a consumului de energie electrică, astfel că pînă în 2025 acesta va crește doar cu 39 %, fapt care poate fi realizat pe calea unei utilizări largi a unor noi mașini și aparate electrice, avînd consumuri specifice mici de energie electrică și care să fie utilizate în mod deosebit în sectorul casnic și edilitar — comunal.

Scenariile de dezvoltare prevăd dezvoltarea UHE și creșterea ponderii lor în balanța energetică la 16 %, surselor alternative noi de energie revenindu-le doar 1 %. În ele se ține seama de posibilitatea unor influențe negative asupra mediului ambiant din partea oxizilor și prafului rezultate din gazele de ardere ale centralelor electrice și se prevăd măsuri de micșorare a acestor influențe.

(După: Referativnii jurnal, Energhetika, 22, nr. 9/1988, poz. 9T.74 și 9T.73)

Stadiul actual şi tendinţe în introducerea sistemelor numerice în echipamentele de protecţie din staţiile electrice

Ing. HORIA MĂRIEŞ*

Descriptori: sisteme numerice, echipamente de protecţie, staţii electrice

În articol se prezintă consideraţii referitoare la instalaţiile de protecţie şi automatizare realizate în tehnologia numerică şi la sistemele numerice integrate în staţiile de transformare. În urma consultării unui material bibliografic vast, autorul şi-a propus prezentarea succintă a problemelor specifice legate de noua tehnologie, în scopul de a provoca dezbateri pe această temă şi pentru a impulsiona promovarea sistemelor numerice integrate în instalaţiile electroenergetice aferente SEN.

Considerations referring to protecion and automatic control facilities in numerical technology and to numerical systems integrated in transformer substations are presented. As a result of extensive bibliographical studies the author pinpoints specifical problems connected to the new technology in order to call forth debates on this item and to promote implementation of numerical systems integrated into power facilities pertaining to the power grid.

Introducere

În prezent se poate afirma că din punctul de vedere al utilizatorilor din sectorul energetic dezvoltarea incredibil de rapidă a microelectronicii a intrat într-o fază de „stabilizare" în sensul că procesoarele existente în prezent pe piaţă pot rezolva cvasitotalitatea funcţiunilor de protecţie, automatizare, supraveghere şi comandă-control, astfel încît reţinerea utilizatorilor faţă de noile produse a scăzut continuu. Majoritatea specialiştilor din întreprinderile de electricitate sînt de părere că introducerea tehnologiei numerice în domeniul instalaţiilor de protecţie şi automatizare aferente instalaţiilor electrice este nu numai de dorit, dar şi inevitabilă în viitorul apropiat [15].

Utilizatorii îşi pun în principal următoarele speranţe în introducerea noii tehnologii : o mai bună fiabilitate datorită autodiagnozei, o mare suplete în utilizare, posibilitatea îmbunătăţirii calităţii deciziei la toate nivelurile de conducere operativă, corelată cu posibilitatea de a se dispune de sisteme de protecţie şi comandă-control evolutive.

In articol se prezintă o trecere în revistă a principalelor aspecte legate de promovarea sistemelor numerice, rezultate din consultarea unor articole şi comunicări ştiinţifice apărute în literatura de specialitate.

1. Arhitectura sistemelor numerice integrate

În urma răspîndirii calculatoarelor de proces utilizate pentru activitatea de conducere prin dispecer (aşa-numitele sisteme de teleconducere definite prin publicaţia nr. 870—1—1 [1] a Comisiei Electrotehnice Internaţionale — C.E.I.), au existat preocupări pe plan mondial pentru că în unele staţii de transformare funcţiunile de protecţie să fie rezolvate de către calculatoarele însărcinate cu realizarea funcţiunilor de teleconducere. Nu s-au obţinut însă rezultatele scontate [13].

Pe de altă parte, progresul important realizat de microelectronică a stimulat dezvoltarea sistemelor de protecţie bazate pe microprocesoare. Primele propuneri în acest domeniu au fost avansate acum circa 15 ani. La început, accentul s-a pus pe protecţiile liniilor şi îndeosebi pe protecţia de distanţă. Protecţiile transformatoarelor şi alternatoarelor, instalaţiile de comandă-control şi protecţie integrate în staţii etc., au fost dezvoltate ulterior.

Deşi sistemele de teleconducere şi protecţiile numerice au fost realizate independent, tendinţa actuală pe plan mondial este de a dezvolta în staţiile de transformare sisteme numerice integrate care să combine cele două sisteme, conceptul de „sistem numeric integrat de protecţie şi comandă-control în staţii de transformare" fiind în centrul discuţiilor a numeroase foruri naţionale şi internaţionale.

Prin noţiunea de arhitectură a sistemului numeric integrat într-o staţie de transformare se înţelege modalitatea de asigurare a repartiţiei, atît funcţionale, cît şi geografice, a funcţiunilor de realizat într-o staţie, inclusiv schimbul de informaţii. Arhitectura cuprinde nu numai repartiţia materială a diferitelor echipamente în staţie, ci şi repartiţia software a funcţiunilor [1].

* Ing. Horia Măriej — M.E.E. — Direcţia Generală de Transporturi şi Distribuţie a Energiei Electrice, Bucureşti

În general, arhitecturile propuse pentru sistemele numerice integrate în stații sînt arhitecturi ierarhizate cu inteligență repartizată. Avantajul principal al unei astfel de arhitecturi constă în faptul că se distribuie „inteligența" cît mai aproape de proces, ameliorîndu-se astfel disponibilitatea ansamblului și permițîndu-se funcționarea în regim degradat.

În figura 1 se prezintă o structură posibilă de calculatoare ierarhizate în interiorul unei stații

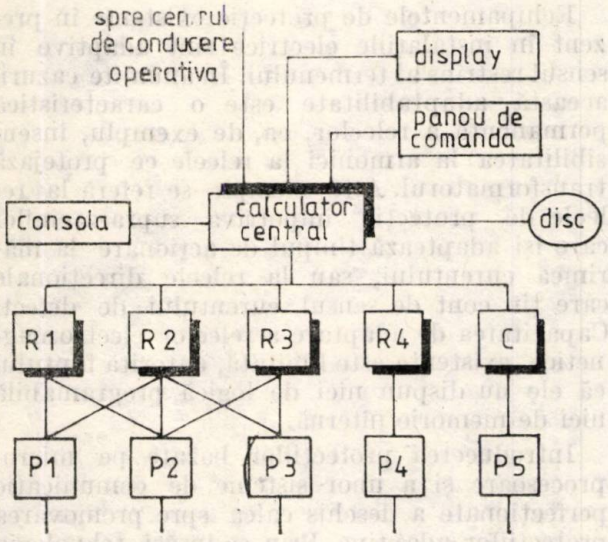


Fig. 1. Structură ierarhizată de calculatoare de proces într-o stație electrică de transformatoare.

de transformare [5]. R1, R2,...etc., sînt calculatoarele afectate diferitelor elemente din stație. Elementele notate cu P sînt periferice de intrare/ieșire și de adaptare a semnalelor analogice și numerice. Fiecare calculator, împreună cu propriul dispozitiv de intrare/ieșire, constituie un sistem de protecție destinat unui element. Calculatorul C și propriul dispozitiv periferic P5 sînt consacrate înregistrării evenimentelor, supravegherii alarmelor și pentru comandă-control. Comanda întrerupătorului unui element este asigurată de protecția numerică a elementului respectiv. Funcțiunile de comandă-control și înregistrare evenimente, care nu sînt acoperite de calculatoarele afectate protecțiilor, sînt rezolvate de către calculatorul C.

Calculatoarele R și C sînt legate la calculatorul central al stației prin intermediul legăturilor de teletransmisie (legături seriale clasice).

Calculatorul central este legat la rîndul lui, prin intermediul unei legături de teletransmisie, cu sistemul de calcul aflat la punctul de dispecer, această legătură fiind utilizată pentru transferul datelor într-un sens sau altul, precum și pentru telecomenzi.

În cadrul acestei arhitecturi se pot defini trei niveluri [1, 3, 4, 14] (fig. 2) :

— nivelul 0 se referă la aparataj și conține interfața cu echipamentele de înaltă tensiune : se face achiziția informațiilor brute (tensiuni, curenți, informații numerice etc.) ;

— nivelul 1 se referă la funcțiunile aferente unui singur element de rețea (celule de medie tensiune, celule de înaltă tensiune, automate etc.) și care se pot asigura fără a fi necesare informații provenind de la alte elemente ale rețelei. La acest nivel se tratează toate funcțiunile proprii elementului controlat ;

— nivelul 2 grupează funcțiuni ce necesită informații de la mai multe echipamente numerice situate la nivelul 1 și care interesează mai multe elemente din stație. Se au în vedere comanda locală prin intermediul unui terminal și a unei claviaturi funcționale, înregistrarea cronologică a evenimentelor, interfața cu sistemul de teleconducere etc.

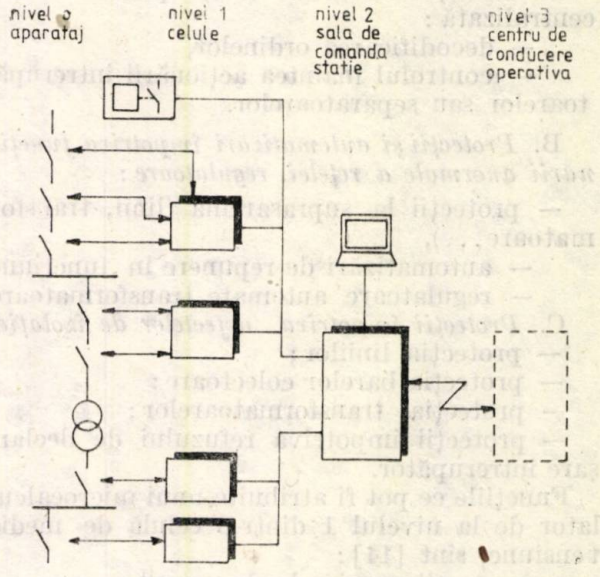


Fig. 2. Niveluri ierarhice într-un sistem numeric integrat.

La fiecare nivel, același microcalculator de proces integrează mai multe funcțiuni. De exemplu, protecțiile, măsura, automatizările asociate unei celule de medie tensiune pot fi realizate de același dispozitiv. La nivelul 1 se pot prevedea și calculatoare de proces ce nu acționează asupra nici unui aparat de comutație, cum sînt automatele programabile dedicate supravegherii serviciilor proprii de curent continuu și curent alternativ. Acest gen de integrare oferă și avantaje economice. Pe de altă parte, integrarea conferă „forță" sistemului datorită faptului că informațiile necesare unei funcțiuni sînt imediat disponibile și pentru alte funcțiuni. Astfel, eșantionarea curenților și tensiunilor servește atît protecției, cît și măsurii, înregistrărilor cronologice de depășiri limite, cît și eventual oscilografierii.

2. Funcţiuni

Funcţiunile de protecţie şi comandă-control din staţiile de transformare pot fi clasate în trei categorii, în ordine crescîndă privind exigenţele relative la siguranţa în funcţionare şi la puterea de calcul necesară executării lor în timp real [1].

A. *Automatizări şi dispozitive aflate în sprijinul conducerii operative* :

— comandă locală descentralizată;
— prelucrarea iniţială a informaţiilor necesare conducerii locale centralizate;
— calculul puterilor active şi reactive, valori eficace tensiuni şi curenţi, determinarea frecvenţei şi a defazajelor,
— consemnări de evenimente cronologice şi memorare locală,
— osciloperturbografie,
— localizare defecte;
— execuţia ordinelor emise prin comanda centralizată :
— decodificarea ordinelor,
— controlul înaintea acţionării întrerupătoarelor sau separatoarelor.

B. *Protecţii şi automatizări împotriva funcţionării anormale a reţelei, regulatoare* :

— protecţii la suprasarcină (linii, transformatoare...),
— automatizări de repunere în funcţiune,
— regulatoare automate transformatoare.

C. *Protecţii împotriva defectelor de izolaţie* :

— protecţia liniilor;
— protecţia barelor colectoare;
— protecţia transformatoarelor;
— protecţii împotriva refuzului de declanşare întrerupător.

Funcţiile ce pot fi atribuite unui microcalculator de la nivelul 1 dintr-o celulă de medie tensiune sînt [14] :

— protecţii maximale de curent;
— protecţii împotriva punerilor la pămînt cu rezistenţă mare de trecere;
— măsura (valori instantanee şi valori integrate);
— reanclaşare automată rapidă;
— comanda întrerupătorului de medie tensiune;
— regim special de exploatare pentru lucrul sub tensiune;
— contorizarea manevrelor.

Funcţiunile generale ale microcalculatorului de la nivelul 2 pot fi grupate în patru categorii [14] :

a) Automatizări :

— descărcări automate de sarcină, reconectarea automată a consumatorilor declanşaţi prin DAS;
— reglarea automată a tensiunii şi a puterii reactive prin comanda automată a treptelor bateriilor de condensatoare;
— anclanşarea automată a rezervei;
— supravegherea nivelului 1 etc.

b) Consemnări de stare şi înregistrări evenimente.

c) Comanda locală prin intermediul ecranului şi a claviaturii din camera de comandă a staţiei.

d) Interfaţa cu sistemul de teleconducere.

3. Protecţii adaptive

Echipamentele de protecţie existente în prezent în instalaţiile electrice sînt adaptive în sensul restrîns al termenului. În anumite cazuri, această adaptabilitate este o caracteristică permanentă a releelor, ca, de exemplu, insensibilitatea la armonici la releele ce protejază transformatorul. Alte exemple se referă la releele de protecţie împotriva suprasarcinilor care îşi adaptează timpul de acţionare la mărimea curentului, sau la releele direcţionale care ţin cont de sensul curentului de defect. Capacitatea de adaptare a releelor electromagnetice existente este limitată, datorită faptului că ele nu dispun nici de logică programabilă nici de memorie internă.

Introducerea protecţiilor bazate pe microprocesoare şi a unor sisteme de comunicaţie perfecţionate a deschis calea spre promovarea protecţiilor adaptive. Prin ea însăşi, tehnologia numerică este programabilă şi prezintă capacităţi logice şi de memorie practic nelimitate. Protecţia numerică oferă noi posibilităţi pentru transferul informaţiilor, pentru comunicaţii locale şi la distanţă.

Protecţia adaptivă permite şi caută să realizeze adaptări ale diferitelor funcţiuni de protecţie la condiţiile mereu în schimbare din reţelele electrice [5, 8]. Obiectivul conceptului de sistem adaptiv va fi un sistem integrat în care funcţiunile de protecţie, automatizare şi teleconducere îşi ajustează automat performanţele pentru a se mula la necesităţile schimbătoare din reţea. Pornind de la practici bine definite, se pot imagina relee adaptive funcţie de informaţiile provenind de la alte sisteme existente în cadrul staţiei de transformare. În sistemele de calculatoare ierarhizate, prezentate în figurile 1 şi 2, astfel de sisteme adaptive necesită legături de comunicaţii uzuale, ce nu sînt afectate de restricţii deosebite.

Se poate trece la un nivel imediat superior de complexitate utilizînd legăturile de comunicaţie existente între staţii de transformare depărtate una de alta. Dacă există sisteme locale de calculatoare în fiecare din staţiile considerate, schimbul de informaţii de stare între protecţiile numerice aflate în staţii diferite decurge de la sine. Eşantioanele de semnale analogice provenind din staţii îndepărtate, pot fi de asemenea comunicate releelor instalate în alte staţii.

Sisteme de acest gen vor permite realizarea unor protecţii cu o sensibilitate foarte ridicată.

Un element cheie într-un mare număr de funcţiuni adaptive este sincronizarea eşantionării la nivel de reţea. Acest lucru va permite utilizarea măsurilor de vectori de fază avînd o referinţă comună într-un număr mare de funcţiuni de protecţie şi teleconducere. De altfel, după cum se menţionează în [2], în prezent se elaborează lucrări de cercetare care să conducă la soluţii fiabile şi economice în cazul următoarelor probleme :

— metode de eşantionare simultană a informaţiilor în staţii diferite, informaţii necesare protecţiilor diferenţiale la liniile electrice de înaltă şi foarte înaltă tensiune ;

— metode de eşantionare simultană a informaţiilor referitoare la curenţi, în diferite puncte din staţie, informaţii necesare protecţiilor de bare.

4. Sisteme de comunicaţie

Aparatajul de înaltă tensiune din staţiile de transformare generează fenomene electromagnetice tranzitorii de mare intensitate a căror influenţă maximă se localizează la nivelul interfeţelor între aparatajul de înaltă tensiune şi sistemul numeric de protecţie.

În prezent, canalele de transmisii seriale constituie cea mai bună soluţie în cazul sistemelor de comunicaţie, canalul serial fiind în principiu mai puţin sensibil la perturbaţii decît canalul paralel. Fizic, legăturile pot fi realizate fie pe o pereche de fire telefonice torsadate şi ecranate, fie pe cabluri coaxiale, fie prin cabluri cu fibre optice (practică curentă în S.U.A., Japonia şi alte ţări).

O configuraţie avantajoasă pentru sistemul de comunicaţie este cea multipunct. În această configuraţie o defecţiune la nivelul 1 nu provoacă blocaj la nivelul 2. Totuşi, pentru a satisface total exigenţele, se pot lua în considerare configuraţii în buclă, configuraţii hibride sau configuraţia în „dublă stea" [4]. Sistemul de comunicaţie trebuie să posede capacităţi potenţiale importante pentru a face faţă evoluţiilor funcţionale, lucru care justifică utilizarea unei reţele industriale utilizînd un protocol normalizat. Protocolul de comunicaţie definit în I.E.E.E. 802.4 răspunde bine problemelor puse de sistemele de teleconducere şi prezintă un timp de răspuns acceptabil în cazul protecţiilor şi automatizărilor numerice [1]. Se va putea lua în considerare şi protocolul de comunicaţie specific sistemelor de teleconducere ce urmează a fi definit în publicaţia C.E.I. 870—5 [16].

5. Structura hardware

Structura hardware adoptată pentru realizarea echipamentelor de protecţie numerică trebuie să răspundă unor criterii referitoare la siguranţa în funcţionare, la supleţe şi adaptabilitate.

Protecţiile numerice trebuie să fie compatibile cu aparatura tradiţională existentă, astfel :

— să poată fi înserate în sistemul de protecţie existent ;

— să poată funcţiona împreună cu sistemul de protecţie existent ;

— să poată fi instalate şi întreţinute de către personalul existent.

În general, la nivelul 1 se adoptă structuri monoprocesor pentru instalaţiile de mai mică importanţă (de exemplu celule de medie tensiune) şi structuri multiprocesor pentru instalaţiile importante (celule de înaltă şi foarte înaltă tensiune).

Procesoarele utilizate sînt de diferite tipuri începînd cu procesoarele de 8 biţi, de exemplu Z 80 şi pînă la microprocesoare de 16 biţi (INTEL 8086 etc.).

O configuraţie hardware simplă realizată în jurul procesorului Z80, destinată protecţiei liniilor de medie tensiune (protecţie maximală temporizată în două trepte), este prezentată în figura 3 [10].

Ea conţine următoarele module :

— unitate centrală cu Z80, unitate paralelă input/output de comandă a busului, circuit

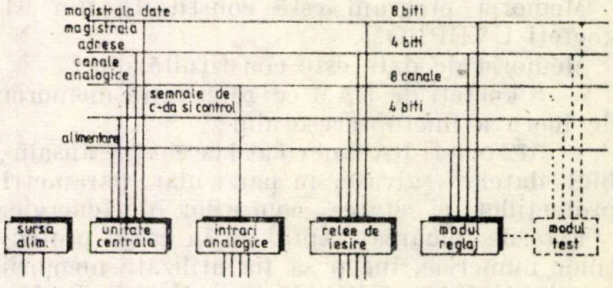


Fig. 3. Structura hardware a unei protecţii maximale de curent, temporizată, în două trepte.

CTC, EPROM 4 kocteţi, RAM, multiplexor analogic de 8 biţi, convertor analog/numeric, watch-dog ;

— module intrări analogice cu patru intrări (maximum două module pe sistem) ;

— modul ieşiri numerice cu relee reed (patru ieşiri pe modul) ;

— modul de reglaj cu comutatoare decadice ;

— modul de test ;

— modul de alimentare.

Configuraţia hardware dezvoltată de firma Merlin-Gerin şi dedicată protecţiei numerice într-o celulă de medie tensiune este prezentată în figura 4 [14]. Funcţiunile realizate au fost prezentate la capitolul 2.

Protecţiile, măsura, automatizările, datarea evenimentelor etc., sînt realizate de acelaşi procesor (INTEL 8031). Un al doilea procesor este dedicat gestiunii cuplorului asincron.

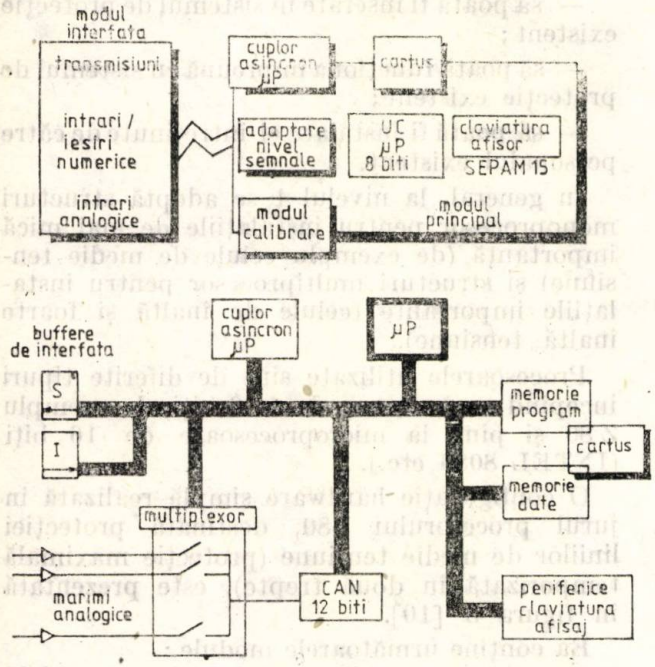


Fig. 4. Structura hardware a sistemului de protecţie numerică într-o celulă de medie tensiune.

Memoria program este constituită din 64 kocteţi UVEPROM.

Memoria de date este constituită din:

— 8 kocteţi de RAM ce reprezintă memoria de lucru a microprocesorului;

— 512 octeţi RAM nevolatil ce conţin ansamblul datelor salvate, în particular parametri protecţiilor şi starea contorilor de energie.

Este de remarcat faptul că în cazul protecţiilor numerice, încep să fie utilizate memorii nevolatile RAM, NVRAM (Non-Volatil RAM), compuse de fapt din celule SRAM la care se ataşează celule EEPROM. Acest tip de memorie conferă protecţiei numerice caracteristica de imunitate la dispariţia alimentării.

Partea de memorie program aflată la dispoziţia utilizatorului şi partea nevolatilă a memoriei de date sînt regrupate pe un cartuş debroşabil, interşanjabil de la un automat la altul, lucru ce facilitează intervenţiile în caz de incident.

Structura hardware a releului 7SA5 fabricaţie Siemens este prezentată în figura 5[3].

Modulele utilizate, amplasate într-un rack de 19" sînt:

— interfaţa de izolare pentru circuitele de curent şi tensiune;

— modul achiziţii date analogice (ADA);

— intrări şi ieşiri numerice, cuprinzînd ieşirile pentru execuţia comenzilor, comenzi pentru diodele electroluminescente (LED) şi interfaţa de intrare/ieşire (I/O);

— module cu microcalculatoare (MC). Pentru extinderea facilă a funcţiunilor existente, se utilizează unul sau mai multe module MC, dintre care unul are rol de „master".

— microtastatura necesară pentru setarea valorilor de reglaj, apelul informaţiilor necesare la încercări şi punere în funcţiune;

— interfaţa serială (SI) pentru schimbul de informaţii cu nivelul 2;

— modulul de alimentare.

S-au încorporat toate funcţiunile ce asigură protecţia unei linii de înaltă tensiune:

— protecţie de distanţă cu funcţiunile asociate;

— interfaţa pentru teleprotecţia universală;

— reanclanşarea automată şi verificarea sincronismului.

Informaţiile care au legătură cu protecţia cum ar fi:

— distanţa pînă la locul de defect;

— valorile curenţilor şi tensiunilor de defect;

— informaţii referitoare la funcţionarea releului (dispozitivul de autotest — autodiagnoză, timpi de funcţionare etc.);

— valori de reglaj;

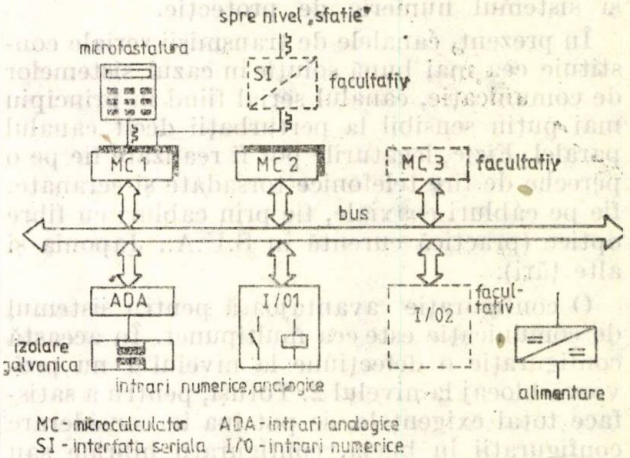


Fig. 5. Structura hardware a releului 7SA5, fabricaţie Siemens.

— date privind încărcarea liniei (A, MW, Mvar, kV).

Pot fi apelate cu ajutorul unei legături seriale prin microtastatura asociată dispozitivului de protecţie.

Pentru analiza defectelor prin metoda tradiţională, toate funcţionările releului sînt semnalizate cu ajutorul unor LED-uri şi a unor contacte auxiliare, ca şi în cazul dispozitivelor clasice.

S-au prevăzut trei moduri de prezentare a informaţiilor:

— LED-uri pe partea frontală a modulelor;

— prin microtastatură (informaţii referitoare la ultimele trei defecte apărute în reţea, distanţa pînă la locul de defect etc.);

— prin legături seriale (la nivel calculator stație și/sau la nivel centru de dispecer).

În urma unui defect, curenții și tensiunile de defect pot fi prezentate prin intermediul unui dispozitiv de înregistrare central (aflat la nivelul 2 — nivel stație), cu o rezoluție de 1 ms, și sub forma de înregistrări de curbe în culori. Dispozitivul de protecție memorează datele pentru o perioadă de 60 ms înainte de defect și 600 ms după defect.

Apariția recentă pe piața microprocesoarelor a unor produse dedicate prelucrării numerice a semnalelor („Digital Signal Procesor") permite abordarea unei noi generații de relee numerice de tip „universal", ceea ce înseamnă că același sistem va permite realizarea în același timp, a mai multor funcțiuni de protecție și va permite trecerea de la o funcțiune la alta printr-o simplă substituire de memorie PROM [9].

6. Realizări constructive

În cazul protecțiilor numerice, se folosesc două moduri de realizare constructivă : pe de o parte, tehnica modulară în rack de 19" și, pe de altă parte, modul de realizare tradițional și autonom, fiecare releu fiind montat într-o cutie individuală.

Tehnica modulară conduce la soluții foarte compacte și este avantajoasă în cazul particular al dispozitivelor de protecție complexe la care este necesară interconectarea unui mare număr de funcțiuni. Legăturile necesare în interiorul unui etaj sau între mai multe etaje sînt scurte și ecranate.

Soluția constructivă sub forma releelor individuale și autonome prezintă interfețe mecanice și electrice simple ca și în cazul dispozitivelor electromecanice. Utilizatorul poate să-și configureze propria soluție de protecție prin asamblarea mai multor tipuri de relee, realizate în tehnologii diferite sau produse de diverși fabricanți. Această soluție constructivă este foarte răspîndită în cazul în care protecția este descentralizată, cazul particular al dispozitivelor de protecție foarte simple din rețeaua de distribuție a energiei electrice. Progresul constant al microelectronicii permite amplasarea mai multor funcțiuni de protecție într-o cutie din ce în ce mai mică [12].

Într-o stație electrică, echipamentele de comandă și protecție sînt supuse în mod constant, la diferite genuri de perturbații. Intensitatea și caracteristicile interfețelor depind de mai mulți parametri, cum ar fi tipul aparatajului (izolație în gaz sau aer), nivelul de tensiune al circuitelor primare, condițiile de legare la pămînt etc.

După numeroși ani de experiență, s-a reținut, pentru protecțiile numerice, un concept special pentru anvelopă care să garanteze insensibilitatea necesară la perturbațiile electromagnetice. Aranjamentul fizic este constituit dintr-o structură cu trei anvelope. Prima anvelopă este constituită dintr-o cutie metalică sudată. Semnalele din proces sînt conectate la unitatea de interfață. Osatura din aluminiu a rack-ului de 19" care conține modulele, reprezintă cea de a doua anvelopă, în timp ce circuitele imprimate definesc pe cea de a treia [6].

Unitatea de interfață de proces interconectează sistemul de protecție cu semnalele provenite de la transformatoarele de curent și de tensiune, circuitele de semnalizare și declanșare, bateria de acumulatoare, camera de comandă etc. Această interfață este gîndită ca o primă barieră eficace împotriva interferențelor electromagnetice. Ea cuprinde o separație galvanică a semnalelor de măsură, realizată cu transformatoare intermediare ecranate. Pentru separarea semnalelor binare de intrare/ieșire se utilizează relee și optocuploare. Ecranele legate la masă și cutia metalică reduc influența perturbațiilor asupra sistemului de calcul.

Datorită faptului că releele numerice nu au fost încă standardizate în publicațiile C.E.I., firmele constructoare sau utilizatorii execută în general aceleași încercări ca și în cazul releelor clasice. Prin asimilare, unele firme execută și încercări specifice microcalculatoarelor de proces.

Exemple de încercări [14] :

— încercări prevăzute în norma CEI 255.4, specifică releelor de protecție :
- unda de șoc 5kV ;
- rigiditatea dielectrică 2 kV, 50 Hz, 1 minut ;
- undă oscilatorie amortizată la 1MHz ;

— încercări prevăzute în norma CEI 801, specifică automatelor programabile :
- descărcări electrostatice (CEI 801.2) ;
- rafale de unde tranzitorii (CEI 801.4).

7. Exploatare, întreținere

Chestionarul distribuit în anul 1985 de către Comitetul de Studii 23 CIGRE (Stații) conținea și unele întrebări referitoare la problemele legate de instalare, întreținere, exploatare, formarea personalului [15].

Trei pătrimi din întreprinderile de electricitate interogate au constatat o diminuare a cheltuielilor de exploatare în timp ce restul consideră că ele rămîn identice cu cele necesare echipamentelor convenționale. Marea majoritate speră într-o diminuare cu pînă la 25% a costurilor de exploatare pe termen lung.

În răspunsuri s-au prezentat dificultățile apărute în timpul formării personalului și în cursul primului an de la punerea în funcțiune. Aceste dificultăți s-au redus după primul an de funcționare.

50% din persoanele interogate au arătat că funcția de autosupraveghere permite o dimi-

nuare a frecvenței lucrărilor de întreținere; restul notează totuși o frecvență egală sau superioară. În aproape toate cazurile, durata lucrărilor de întreținere este mai scurtă decît în cazul sistemelor clasice, cu condiția ca noile echipamente să fie prevăzute cu sisteme de testare automată. Au fost puține răspunsuri la întrebarea care a încercat să stabilească de ce, în unele cazuri, durata medie a depanării la noile echipamente a fost mai lungă decît la echipamentele clasice. Răspunsurile primite au menționat cauze legate de :

— complexitatea sistemului ;

— lipsa unor dispozitive speciale de testare și detecție defecte ;

— lipsa de familiarizare cu echipamentul.

În cazul releelor de protecție clasice, defecțiunea este detectată, în marea majoritate a cazurilor, în cursul lucrărilor de întreținere programate sau în cazul „primei defecțiuni". Disponibilitatea unui astfel de releu depinde deci de periodicitatea lucrărilor de întreținere. Pentru a se trece de la această strategie de întreținere preventivă la o alta cu un caracter mult mai corectiv, ameliorînd în același timp disponibilitatea dispozitivelor de protecție, s-a acordat o foarte mare importanță conceptului de extindere a autosupravegherii și de diagnosticare a defectelor interne. Aceste funcțiuni nu acoperă numai dispozitivul de protecție în sine, ele se extind și asupra circuitelor transformatoarelor de curent și tensiune, mergînd pînă la bobina de declanșare [3].

Sistemul de supraveghere acoperă în general următoarele puncte :

a) Conexiuni exterioare releului numeric :

— circuite de alimentare ;

— circuitele transformatoarelor de tensiune ;

— circuitele transformatoarelor de curent ;

— legăturile seriale cu nivelul 2 și cu microtastura.

b) Hardware și software :

— conținutul memoriei program ;

— valori de reglaj memorate ;

— date de intrare ;

— schimbul de date între module ;

— funcționarea corectă a modulelor prin intermediul unui watch-dog sau a unei unități master ;

— secvențe program ;

— verificarea memoriei active (working memory) ;

— exactitatea adresării modulelor ;

— precizia circuitelor de intrări analogice ;

— circuitele de declanșare și de reanclanșare.

Un defect temporar, ca de exemplu o eroare de transfer de date pe bus, este corectat imediat și nu are efect asupra protecției propriuzise.

Un defect permanent, cum ar fi o defecțiune hardware este semnalat pe două căi independente (sub forma informațiilor transferate pe bus și printr-o linie specială), atît la nivel de dispozitiv, cît și în exteriorul sistemului de protecție.

Funcție de tipul defectului și de configurația aleasă pentru sistemul de protecție, autotestul poate provoca următoarele efecte particulare :

— dezactivarea funcțiunii de protecție afectate de defectarea unei componente ;

— blocajul circuitului de declanșare sau al totalității sistemului de protecție.

În cazul în care microprocesorul nu este capabil să funcționeze corect, blocarea releului se efectuează cu ajutorul unui circuit simplu. Această autosupraveghere completă nu poate elimina apariția unei defecțiuni, de exemplu ca urmare a defectării unei componente, dar ea garantează o mai mare fiabilitate declanșărilor, prin depistarea acestei defecțiuni la timp. Autosupravegherea permite, în mod cert, creșterea intervalului de timp la care au loc lucrările de întreținere obișnuite.

În general, lucrările de instalare și punere în funcțiune a unui sistem de protecție numeric sînt mult ușurate datorită faptului că sistemul poate fi testat complet, înainte de livrare, de către fabricant. În plus, după livrarea sistemului, o configurație „geamănă" poate fi conservată la fabricant [14]. Astfel de măsuri organizatorice au o importanță deosebită, datorită faptului că permit testarea completă a funcțiunilor sistemului pe o platformă de încercări.

Pentru a limita repercusiunile legate de introducerea noii tehnologii, utilizatorii conservă un mod de exploatare local, identic celui din celelalte stații : comanda la nivelul fiecărei celule.

Personalul de întreținere și exploatare desemnat să intervină în stație este școlarizat privind :

— echipamentele de la nivelul 1 ;

— calculatorul stației ;

— utilizarea sistemului integrat, în ansamblu.

Cu toate aceste precauții, noua tehnologie necesită o anumită perioadă de adaptare. În cursul acestei perioade, supleţea sistemului numeric permite să se țină cont, în mod constructiv, de observațiile critice ale personalului de exploatare.

Concluzii

Sistemele de protecție și comandă-control numerice sînt în prezent în plină evoluție pe plan mondial. Se constată de asemenea, tendințe de realizare în stațiile de transformare a unor sisteme numerice integrate care să înglobeze sistemele de teleconducere și sistemele de protecție. Autorul și-a propus prezentarea succintă a problemelor specifice legate de noua tehnologie în scopul de a provoca dezbateri

pe această temă și pentru a influența dezvoltarea sistemelor numerice integrate și la noi în țară.

Bibliografie

[1] Bornard, P., Merlin, A., Bourde, M., Arbes, J., Ebbersohl, G. *Architecture du contrôle-commande et protection numérique des postes à THT.* CIGRE, Session 1986, 27 aout — 4 septembre, Ref. 34—01.

[2] Ando, T., Sato, T., Kowano, J., Tsuboi, A., Suzuki, K., Sano, Y., Andow, F. *Etat actuel et expérience en exploitation des protections numérique dans les postes.* CIGRE, Session 1986, 27 août — 4 septembre, Ref. 34—05.

[3] Mainka, M., Renz, K., Koch, G. *Considérations relatives à la conception d'un système de protection de départ pour lignes à haute tension, realisé entièrement à base de microprocesseurs.* CIGRE, Session 1986, 27 août —4 septembre, Ref. 34—12.

[4] Gustafsson, A., Holst, S., Andersson, F., Lundquist, B. *Différents aspects de la structure des systèmes de protection et de commande considérés du point de vue des exigences fondamentales.* CIGRE, Session 1986, 27 août—4 septembre, Ref. 34—07.

[5] Phadke, A.G., Politis, A., Thorp, J.S. *Amélioration de la protection et de la conduite des systèmes d'énergie, avec des calculateurs numériques.* CIGRE, Session 1986, 27 août—4 septembre, Ref. 34—09.

[6] Lanz, O.E., Fromm, W. *Une nouvelle approche de la protection numérique.* CIGRE, Session 1988, 28 août—3 septembre, Ref. 34—12.

[7] Engqvist, A., Eeriksson, L. *Protection de distance numérique sur les réseaux de répartition.* CIGRE Session 1988, 28 août—3 septembre, Ref. 34—04

[8] Thorp, J.S., Horowitz, S.H., Phadke, A.G *L'application d'une technologie adaptive à la protection. et à la conduite des reseaux.* CIGRE, Session 1988, 28 août —3 septembre, Ref. 34—03.

[9] Benmouyal, G. *Conception et mise en oeuvre d'un relais universel de protection d'alternateur.* CIGRE, Session 1988, 28 août—3 septembre, Ref. 34—09.

[10] Petri, K., Kisvolcsey, J., Kovacsne, Czira, Zs., Tombor, A. *Mikroprocesszoros vedelem fejlesztese.* În: Elektrotechnica 80, 1987, nr. 11.

[11] Lanz, O.E., Zidar, J., Hopli, E. MC *91, un relais ampèrmetrique universel multifunction, piloté par microprocesseur.* În: Brown Boveri, nr. 1, 1985

[12] Gantner, C. J., Ilar, F. *Relais statiques et individuels de la série 900.* În: Brown Boveri, nr. 2, 1985

[13] Hubersteiner, H. *A digitalis halozatvedelem.* În: Villamosag, 34, nr. 2—3, 1987

[14] Cornu-Emieux, R., Holland, M. *L'utilisation des techniques numériques pour le contrôle, la protection et la mesure dans un poste HT/MT. L'expérience commune d'un distributeur et d'un constructeur.* CIGRE, Session 1988, 28 août—3 septembre, Ref. 23—16.

[15] O'Neill, A., Zomers, N. *Système numérique integré de protection et de contrôle-commande des postes.* Rapport présénte au nom du Comite d'Etudes 23 (Postes). CIGRE, Session 1988, 28 août—3 septembre, Ref. 23—15.

[16] Commission Electrotechnique Internationale. *Matériels et systèmes de télècond ite. Première partie: Conditions générales. Section un: Principes generaux.* Publicația 870—1—1 (1).

(Primit la 27 iunie 1989, acceptat la 5 septembrie 1989)

Cronică

CEL DE AL VII-LEA SCHIMB DE EXPERIENȚĂ ÎN ELECTROTERMIE „MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESELOR ELECTROTERMICE INDUSTRIALE ȘI ECHIPAMENTE DE PROIECTARE ASISTATĂ DE CALCULATOR"

În perioada 7—9 decembrie 1989 a avut loc la Galați, organizat de ICPE, Universitatea Galați și IMNG, cel de al VII-lea schimb de experiență în electrotermie. Participanții (cadre didactice, cercetători, ingineri din întreprinderi din țară) au dezbătut competent și pasionat cele peste 20 de comunicări științifice prezentate.

Electrotermia, disciplină multidisciplinară, purtătoare de progres tehnic, se află în continuă evoluție și implementare tot mai largă. În prezent se asistă la apariția de aplicații și instalații electrotermice, modernizarea celor existente în perspectiva îmbunătățirii continue a calității produselor, concomitent cu urmărirea economiilor de materiale și energie. Specific electrotermiei, dar nu numai ei, este implicarea tot mai accentuată a aspectelor fenomenologice, de teorie a difuziei cîmpului electromagnetic și căldurii, în perfecționarea și conducerea asistată de calculator a proceselor electrotermice.

Noul schimb de experiență, urmare a celor cinci anterioare, organizate de Comitetul Român pentru Electrotermie, și anume:

1 — Încălzirile prin inducție (la București);
2 — Cuptoare cu arc electric și producerea oțelului electric (la Hunedoara);
3 — Cuptoare cu rezistență (la Iași);
4 — Control nedistructiv în electrotermie (la Buzău);
5 — Eficiența energetică în electrotermie (la București),

a avut scopul de a circumscrie preocupările specialiștilor în electrotermie și degajarea direcțiilor prioritare de dezvoltare în continuare. La aceasta a servit și masa rotundă „Factori tehnico-economici susceptibili să favorizeze dezvoltarea electrotermiei".

Schimbul de experiență a permis abordarea sistematică a unor aspecte și mai buna cunoaștere a fenomenelor și implicațiilor acestora, bucurîndu-se de atenția și buna organizare a gazdelor gălățene.

Deoarece utilitatea schimburilor de experiență în electrotermie a fost apreciată pozitiv de către toți participanții, s-a propus organizarea, în primăvara anului 1990, a celui de al VIII-lea schimb de experiență cu titlul „Tehnologii electrotermice neconvenționale". Potențialii autori de comunicări și participanți sînt rugați să-și manifeste interesul prin inscrieri adresate secretariatului comitetului de organizare (ICPE, Bd. Tudor Vladimirescu, nr. 45—47, București). Comitetul de organizare adresează mulțumiri revistei care și în acest fel răspunde interesului general al dezvoltării active și eficiente a aplicațiilor electrotermice industriale.

Dr. ing. Dan Florian Sămărescu

Reducerea pierderilor de putere și energie electrică în transformatoare — o problemă deosebit de actuală

ing. HERMINA ALBERT*

Descriptori: consumuri proprii tehnologice de putere și energie electrică, transformatoare

În referat se prezintă actuala orientare privind pierderile de putere și energie în transformatoare.

Se indică modul lor de determinare și metodologia actuală de evaluare a costurilor aferente.

Se subliniază preocuparea deosebită pentru reducerea pierderilor în transformatoare, datorită costului capitalizat al acestora și efectele acestei orientări noi asupra concepției de construcție a transformatoarelor pe plan mondial.

The present tendency of transformer power and energy losses is approached in this paper.

The manner to determine therm and the present methods to evaluate afferent cost is indicated.

Special concern for reducing transformer losses due to their capitalized costs and effects of this new approach on worldwide transformer manufacturing concept are outlined.

Introducere

Preocuparea generală actuală pentru economia de energie electrică a condus, în ultimii ani, la schimbarea atitudinii față de pierderile în transformatoare, considerate anterior ca o cantitate neglijabilă.

Costul unui transformator, considerat pe toată durata lui de viață, este compus din costurile:

— de cumpărare;
— de instalare;
— de întreținere;
— de pierderi.

Deși randamentele transformatoarelor moderne sînt de peste 99%, costul pierderilor este important. Cu prețurile normale ale energiei aceste costuri sînt comparabile cu prețul de cumpărare a aparatului.

La nivelul anului 1960 [4], scopul proiectantului de transformatoare era de a construi un transformator ușor, pentru ca să fie competitiv ca preț. Pentru marile transformatoare, considerentele principale erau greutatea și dimensiunile pentru transport. Se urmărea creșterea densității fluxului în circuitul magnetic al transformatorului, iar fabricanții de tole magnetice erau obligați să producă un oțel care să se poată utiliza la densități mari de flux, cu o creștere minimă a pierderilor și a nivelului de zgomot.

După 1960, distribuitorii de energie electrică au recunoscut importanța costului utilizării transformatoarelor de forță și au început să introducă costul capitalizat al pierderilor în procedura de evaluare. Valorile aferente pierderilor au fost totuși relativ mici și nu au constituit un stimulent pentru realizarea de aparate cu pierderi reduse.

În anii 1970, costul petrolului a crescut cu un ordin de mărime, ceea ce s-a repercutat și asupra celorlalți combustibili și, în consecință, asupra prețului energiei. Începînd cu această etapă, valoarea pierderilor capitalizate a fost evaluată în Anglia la valori de 4 000 lire/kW (circa 10 000 dolari/kW) pierdere în gol și 1500 lire/kW (circa 3950 dolari/kW) pierderi în sarcină [4], corespunzător în Polonia la circa 3000 dolari/kW [2].

Întrucît nu există nici un indiciu de tendință de scădere a prețului energiei este de așteptat ca valoarea pierderilor capitalizate să continue să crească. De aici a rezultat o presiune puternică asupra constructorilor de transformatoare de a proiecta și realiza transformatoare cu pierderi reduse.

La ultima sesiune CIGRE, din august 1988, această preocupare s-a oglindit în tematica grupei 12 (transformatoare), care a urmărit evaluarea pierderilor și influența lor asupra concepției și alegerii materialelor. Într-un număr de opt referate s-au analizat probleme legate de evaluarea pierderilor, căi de reducere și corecta lor măsurare.

Problema reducerii pierderilor în transformatoare este deosebit de actuală și pentru țara noastră. Numărul mare de noi transformatoare montate anual în rețea (în instalații noi sau înlocuind instalații existente, defecte) face

* Ing. Hermina Albert — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

necesară o examinare atentă a tuturor posibilităţilor de scădere a consumului tehnologic în transformatoare.

Pentru exemplificare, se menţionează că numai în reţele, în perioada 1986—1987, în staţii de transformare de 110 kV — 400 kV s-au instalat 42 transformatoare, în staţii de medie tensiune circa 450 transformatoare, iar în posturi de transformare circa 1000 transformatoare. În afara acestora au fost instalate 30 transformatoare în centralele electrice. Sarcina permanentă de a reduce în continuare şi valoarea absolută a pierderilor face ca, pentru România, problema să prezinte — în afara interesului economic — un deosebit interes tehnic.

1. Evaluarea pierderilor în transformatoare

Principalii factori care influenţează valoarea pierderilor în reţele sînt :

— caracteristicile tehnice (mărimea pierderilor) ;

— durata de funcţionare ;

— numărul de ore de utilizare a puterii maxime, nominale ;

— costul energiei.

După cum se ştie, pierderile de putere în transformatoare sînt de două tipuri :

— de mers în gol (ΔP_0), în principal în fierul transformatorului, cu o valoare practic constantă pe întreaga perioadă de cuplare a aparatului la reţea ;

— în sarcină (ΔP_{sc}), în principal prin efect Joule în înfăşurarea transformatorului, cu o valoare practic proporţională cu pătratul sarcinii aparatului, exprimarea lor fiind posibilă prin raportare la pierderea în sarcină maximă.

Pentru evaluarea *pierderilor de putere* în reţea, la funcţionarea unui transformator la sarcina S(kVA) se utilizează relaţia :

$$\Delta P = \left(\Delta P_0 + \alpha \frac{i_0}{100} S_{nom}\right) + \left[\Delta P_{scc} + \alpha \frac{U_{scc}}{100} S_{nom}\right]\left(\frac{S}{S_{nom}}\right)^2 \quad [\text{kW}], \quad (1)$$

în care :

S_{nom} este puterea nominală, în kVA ;
ΔP_0 — pierderea de mers în gol, kW ;
i_0 — curentul de mers în gol, % ;
ΔP_{scc} — pierderea în scurtcircuit, kW ;
U_{scc} — tensiunea de scurtcircuit, % ;
α — pierderea de putere activă în sistemul energetic aferentă vehiculării puterii reactive, kW/kvar ;
S — sarcina transformatorului, kVA.

Pentru evaluarea *pierderilor de energie* în reţea, la funcţionarea unui transformator la sarcina S(kVA), se utilizează relaţia :

$$\Delta W = \left(\Delta P_0 + \alpha \frac{i_0}{100} S_{nom}\right) I + \left[\Delta P_{scc} + \alpha \frac{U_{scc}}{100} S_{nom}\right]\left(\frac{S}{S_{nom}}\right)^2 \tau \quad [\text{kWh}], \quad (2)$$

unde: T este durata de cuplare a transformatorului la reţea ;

T_{max} — numărul de ore de utilizare a puterii maxime :

$$I_{max} = \frac{W}{S_{max} \cos\varphi} ;$$

τ — timpul de pierderi corespunzînd lui T_{max} şi caracterului sarcinii.

Din relaţia (2) rezultă că pierderile de energie de mers în gol au o importanţă mare, deşi valoarea pierderii de putere este de 18—25% din valoarea pierderilor de plină sarcină (valorile mai mici la puteri nominale mai mici). Faptul se datorează încărcării sub puterea nominală, în majoritatea timpului, ceea ce face ca $S/S_{nom} < 1$ şi τ, de regulă, între 2500—6000 ore/an. În [1] se arată că pierderile de mers în gol, în anumite condiţii de funcţionare, sînt de 2—4 ori mai mari decît pierderile în sarcină.

De menţionat că raportul dintre pierderile de energie în gol şi în sarcină la transformatoarele de grup generator şi la transformatoarele de reţea variază datorită diferenţei de regim. Raportul este mai mic la transformatoarele de grup (fără capacităţi de rezervă) decît la transformatoarele de reţea (de regulă rezervate, cu încărcări mult sub puterea nominală a transformatorului).

Din cele expuse rezultă că cifrele de evaluare a pierderilor variază în limite largi, după modul de evaluare.

În conformitate cu metodologia actuală de efectuare a calculelor tehnico-economice în energetică [10] se poate evalua costul energiei aferente unui kilowatt pierdere, pe toată durata de viaţă a unui transformator [9]. Considerînd $\alpha = 0$ (neglijînd deci pierderile suplimentare în reţea), relaţia de calcul este :

— pentru pierderile în gol :

$$C_0 = 1{,}2 \Delta P \cdot C_1 + \sum_{i=1}^{n} \Delta P \cdot t \cdot C_2 (1 + a)^{-t}, \quad (3)$$

în care :

ΔP este valoarea pierderii de putere, kW ;
C_1 — costul pentru un kilowatt instalat în sistem = 7100 lei/kW ;

t — durata de cuplare anuală la reţea, ore;
C_2 — preţul energiei electrice, lei/kWh;
a — rata de actualizare, 8%;
— pentru pierderile în sarcină:

$$C_s = 1{,}2\Delta P C_1 + \sum_{i=1}^{n} \Delta P \left(\frac{S}{S_{nom}}\right)^2 \tau C_2 (1+a^{-i}), \quad (4)$$

în care:

S este sarcina reală a transformatorului;
τ — timpul de pierderi.

Coeficientul 1,2 se introduce pentru a se menţine nivelul de asigurare a puterii cerute, considerînd că există o rezervă de 20%. Preţul unui kilowatt-oră variază în funcţie de tensiunea la care este racordat transformatorul. Conform reglementărilor în vigoare, el este 0,71 lei/kWh la 400 — 220 kV, 0,92 lei/kWh la 110 kV, 1,35 lei/kWh la medie tensiune şi 1,80 lei/kWh la joasă tensiune.

Durata de viaţă a unui transformator fiind de 30 ani, dacă, pentru simplificare, se consideră regimul de funcţionare acelaşi pe toată perioada se obţine $\sum_{1}^{30}(1+0{,}08)^{-i} = 11{,}33$. Cu $\Delta P = 1$ şi $C_2 = 1$ lei/kWh se obţine:

• Pentru 1 kW pierdere de mers în gol:

$$C_0 = 1{,}2 \cdot 7100 + 11{,}33 \cdot 8760 = 107770 =$$
$$= 108\,000 \text{ lei.}$$

• Pentru 1 kW pierdere în sarcină, pentru un transformator de reţea;

— cu o rezervă de 100%, deci $S = \frac{1}{2} S_{nom}$ şi $\tau_1 = 1500$ ore, respectiv $\tau_2 = 5000$ ore se obţine:

$$C_{s1} = 1{,}2 \cdot 7100 + 1/4 \cdot 1500 \cdot 11{,}33 =$$
$$= 12768 \cong 13000 \text{ lei}$$

şi respectiv:

$$C_{s2} = 1{,}2 \cdot 7100 + 1/4 \cdot 5000 \cdot 11{,}33 =$$
$$= 22682{,}5 \text{ lei} = 23000 \text{ lei}$$

• Pentru 1 kW pierdere în sarcină, pentru un transformator de generator cu $S = 0{,}8 S_{nom}$ şi $\tau_2 = 6000$ ore se obţine:

$$C_{sG} = 1{,}2 \cdot 7100 + (0{,}8)^2 \cdot 6000 \cdot 11{,}33 =$$
$$= 52027{,}2 \cong 52000 \text{ lei}$$

Cheltuielile actualizate calculate cu aceleaşi premise pentru racordarea transformatorului la diferite tensiuni sînt prezentate în tabelul 1.

Din cele prezentate rezultă:
— importanţa reducerii pierderilor;
— necesitatea evidenţierii diferenţierii dintre valoarea 1 kW pierdere în gol sau în sarcină [4].

Tabelul 1

	400—220 kV	110 kV	MT	JT
C_0	79000	99830	142508	187170
C_{s1}	11536	12428	14255	16166
C_{s2}	18575	21549	27639	34912
C_{sG}	39410	48546	67254	—

Valoarea orientativă a costului suplimentar justificat pentru transformatorul cu o pierdere mai mică cu 1 kW se poate determina considerînd cheltuielile totale actualizate pentru cele două transformatoare comparate. Dacă cheltuielile de exploatare ar reprezenta valoarea de $p = 5\%$ din investiţie şi se consideră aceeaşi perioadă de exploatare de 30 ani:

$$\Delta I = \frac{C}{1 + \sum_{1}^{n}(1+a)^{-i}\frac{p}{100}} = \frac{C}{1 + 11{,}33 \cdot 0{,}05} =$$
$$= \frac{C}{1{,}566} \text{ [lei]},$$

ceea ce, în cazurile analizate, revine, pentru preţul mediu de 1 lei/kWh, la:

$$\Delta I_0 = \frac{108000}{1{,}566} = 69000 \text{ lei};$$

$$\Delta I_1 = \frac{13000}{1{,}566} = 8300 \text{ lei};$$

$$\Delta I_2 = \frac{23000}{1{,}566} = 14700 \text{ lei};$$

$$\Delta I_g = \frac{52000}{1{,}566} = 33200 \text{ lei}.$$

Aceste valori au fost indicate ca valori absolute, ele reprezentînd — evident — scumpiri procentual diferite pentru transformatoarele de puteri nominale diferite.

Datele prezentate explică de ce, în prezent, în toate sistemele energetice în care există posibilitatea alegerii între diferite firme furnizoare se face o optimizare care vizează minimizarea sumei preţului de cumpărare şi a costului actualizat al pierderilor. De asemenea, explică preocuparea deosebită a constructorilor de transformatoare pentru această optimizare.

2. Efecte asupra concepţiei transformatoarelor

În prezent, proiectarea transformatoarelor se realizează cu ajutorul calculatoarelor. Pentru a se obţine un preţ comparativ minimal trebuie

să se țină seama de multe constrîngeri și de diferiți factori, dar programele elaborate au permis introducerea tuturor parametrilor tehnici și a tuturor informațiilor de cost privind o centrală dată, utilizînd un algoritm de optimizare [8].

Se observă două tendințe distincte :

— pierderile în gol au scăzut datorită unui număr mare de factori ;

— pierderile în sarcină au fost reduse, în principal, prin reducerea pierderilor suplimentare.

Pierderile de mers în gol într-un transformator sînt pierderi în circuitul lor magnetic. Reducerea acestora în ultimii ani s-a datorat unui număr de trei factori [4, 8] :

— utilizarea de oțeluri cu pierderi micșorate ;

— metode de fabricație îmbunătățite ;

— îmbinări îmbunătățite.

Oțeluri cu pierderi micșorate sînt cele bazate pe o orientare îmbunătățită a cristalelor și, parțial, prin apariția metalului amorf [4], precum și printr-o grosime redusă a tolelor.

O analiză a unor circuite magnetice modelate pentru un transformator de 800 kVA, toate de aceeași concepție, a arătat că prin utilizarea diferitelor tipuri de oțel se pot obține reduceri de pierderi de pînă la 25%.

Este important de semnalat că pierderile în gol după o încercare de șoc cresc cu pînă la 8% din valoarea dinaintea probei de înaltă tensiune. Analizele efectuate au arătat că această creștere este influențată de starea bavurilor, pentru un transformator la care bavurile au fost complet eliminate prin electrochimie, pierderile înainte și după probele de înaltă tensiune rămînînd constante.

Pierderile în sarcină într-un transformator cuprind, așa cum se știe, pierderile Joule $(RI)^2$, pierderile prin curenți Foucault din înfășurări și pierderile suplimentare.

Reducerea pierderilor prin efect Joule este legată de scăderea densității de curent, deci de creșterea secțiunii conductoarelor, implicit de mărirea circuitului magnetic și creșterea pierderilor în gol. De asemenea, aceasta ar conduce la creșterea greutății și a dimensiunii transformatoarelor, ceea ce, în cazul transformatoarelor mari, poate fi limitativ, din cauza dificultăților de transport.

Pentru reducerea pierderilor prin curenți Foucault în înfășurări se utilizează cablul continuu transpus, în care conductorul este format din numeroase fire subțiri.

În afara pierderilor Joule și prin curenți Foucault, pierderile totale datorate sarcinii comportă pierderi suplimentare induse în afara înfășurărilor de flux de scăpări electromagnetice care apar cînd conductoarele sînt în sarcină. Se estimează de către unii specialiști că ele reprezintă în mod normal 30% din pierderile datorate sarcinii. Controlul și reducerea acestor pierderi parazite au devenit deosebit de importante.

Datorită programelor de calcul care au permis o analiză completă a cîmpului de scăpări, efortul principal este direcționat în prezent, în domeniul reducerii pierderilor suplimentare.

Se acordă o atenție deosebită următoarelor metode [3, 4, 5, 8] :

— utilizarea de metale magnetice cu rezistență ohmică mare ;

— utilizarea materialelor nemetalice în zonele de flux de scăpări mari ;

— utilizarea ecranelor magnetice ;

— utilizarea ecranelor nemagnetice, făcute dintr-un material cu mare conductivitate electrică.

Se consideră că prin introducerea ecranelor se pot reduce pierderile suplimentare astfel încît ele să reprezinte circa 10% din totalul pierderilor în sarcină [5, 8].

Efectele acestor măsuri de reducere a pierderilor trebuie atent studiate. Dintre ele se semnalează și variația impedanței transformatorului în sensul creșterii acesteia, în special a celei homopolare (cu circa 50% la transformatoarele cu ecrane față de cele fără ecrane). Preocuparea de reducere a pierderilor ca urmare a creșterii cheltuielilor actualizate a dus la importante reduceri ale acestora [4]. Variația pierderilor în ultimii ani pentru un transformator tip de 600 MVA pentru generatoare este prezentată în tabelul 2.

Tabelul 2

Tensiunea rețelei [kV]	Anul de proiectare (aproximativ)	Pierderi totale [kW]
275	1964	2300
	1966	2122
	1985	1200
400	1966	1971
	1968	1716
	1985	1150

* * *

Dată fiind importanța valorii reale a pierderilor, importanța fiecărui kW, au apărut preocupări deosebite pentru corecta măsurare a acestora [2, 6, 7, 8].

Pierderile în gol ale unui transformator sînt în funcție de amplitudinea, frecvența și forma undei de tensiune aplicate. Pierderile prin histeresis sînt în funcție de densitatea fluxului maxim și depind de valoarea medie a tensiunii aplicate. Pierderile prin curenți Foucault sînt o funcție de frecvență și sînt sensibile la armonicile tensiunii aplicate.

Valoarea pierderilor este important să fie cunoscută și în condițiile aplicării unei tensiuni

superioare cu 10 — 15% celei nominale. Circuitul magnetic în aceste condiții ajunge la saturație, iar impedanța de intrare nu mai este liniară. La transformatoarele de mare putere, aceasta se traduce printr-o puternică distorsiune a undei tensiunii de alimentare de încercare, iar valorile obținute în timpul probei nu pot fi corectate după formule standard. Pentru evitarea acestei situații [2] s-au construit circuite de tip special, care să contribuie la menținerea formei sinusoidale a tensiunii de încercare.

Trebuie observat că formulele actuale de corecție a pierderilor măsurate pe bază sinusoidală presupun că pierderile sînt 50% prin histeresis și 50% prin curenți Foucault. Aceste ipoteze nu mai sînt valabile pentru oțelurile magnetice moderne.

De asemenea, se constată că pierderile prin curenți Foucault variază cu temperatura mediului, în timpul măsurării.

În măsurarea pierderilor datorate sarcinii se semnalează că eroarea de unghi de fază este cea care poate afecta în mai mare măsură rezultatele măsurătorii, evident în afara erorilor aparatelor de măsură, ale raportului transformatoarelor de măsură etc.

Concluzii

În prezent, în România, reducerea pierderilor în rețele în valoare absolută este o sarcină primordială. O cale principală de scădere a acestui consum o constituie reducerea pierderilor în transformatoarele de toate tensiunile și puterile, printr-o concepție optimizată a acestora.

În ultimii ani se constată — pe plan mondial — o preocupare deosebită pentru reducerea pierderilor în transformatoare, datorită costului capitalizat ridicat al acestora. Pe întreaga durată de exploatare, acest cost poate egala valoarea de investiție a transformatorului.

Pentru SEN, valoarea cheltuielilor totale actualizate pentru 1 kW pierdere suplimentară are o medie variind de la circa 100 000 lei (pentru pierderea de mers în gol) pînă la circa 13 000 lei (pentru pierderea în sarcină la un transformator cu sarcină redusă și durata minimă de utilizare a puterii maxime).

Ca valoare medie orientativă a costului suplimentar economic justificat al unui transformator cu o pierdere de putere redusă cu 1 kW rezultă circa 69 000 lei pentru reducerea pierderilor de mers în gol, respectiv 8300 lei pînă la 33200 lei pentru reducerea pierderilor în sarcină.

Dat fiind costul diferențiat al unui kilowatt pe tensiuni, se poate constata că reducerii de pierderi la tensiuni inferioare îi corespunde o cheltuială totală mai mare, deci, din punct de vedere economic, este mai importantă.

Literatura tehnică de specialitate din ultimii ani abundă în informații privind căile de reducere a pierderilor de mers în gol și în sarcină. Reducerile indicate pentru pierderile totale sînt — pentru ultimii 20 ani — de circa 50%.

Este oportună o analiză și o revedere a actualelor tipuri constructive de transformatoare de putere fabricate în România, astfel încît să corespundă cerințelor SEN și să fie competitive — pe baza actualelor criterii de eficiență folosite de utilizatori — pe plan mondial.

Bibliografie

[1] Baehr, R. *Rapport spécial du groupe 12 (Transformateurs).* CIGRE — Session 1988, 28.VIII—3.IX—12-00

[2] Malewski, R., Train, D. *Mesures de pertes dans le fer des grands transformateurs de puissance,* CIGRE — Session 1988, 28.VIII—3 .IX—12—01

[3] Komulainen, R., Nordman, H. *Evaluation des pertes et emploi d'écrans magnétiques et électromagnetiques dans les transformateurs.* CIGRE — Session 1988, 28.VIII—3.IX—12—03.

[4] Harrison, T. H., Richardson, B. *Réduction des pertes des transformateurs.* CIGRE — Session 1988, 28.VIII—3 IX—12—04.

[5] Bose, A.K., Kroon, C., Hulsink, G. *Quelques aspects de la conception des transformateurs à faibles pertes en charge.* CIGRE — Session 1988, 28.VIII—3.IX —12-05.

[6] Ravot, S. F., Kreuzer, S. *Pertes dans les transformateurs pour redresseurs: comparaison entre les pertes mesurées à frequence industrielle et les pertes réelles en service.* CIGRE — Session 1988, 28.VIII—3.IX—12—06.

[7] Bavare, A., Bossi, A., Calabro, S., Caprio, G., Crepaz, S. *Critères pour une meilleure évaluation des pertes réelles dans les transformateurs de puissance.* CIGRE — Session 1988, 28.VIII—3 .IX—12—09.

[8] Beaumont, R. *Pertes dans les transformateurs et réactances.* Rapport présenté au nom du Comité d'Etudes 12 (Transformateurs). CIGRE — Session 1988, 28. VIII—3.IX 12—10.

[9] Albert, H. *Pierderi de putere și energie în rețelele electrice.* Ed. tehnică 1984.

[10] M.E.E. PE—011/82. *Normativ privind calculele comparative tehnico-economice la instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice.*

(Primit la 22 mai 1989, acceptat la 24 iulie 1990)

Determinarea impedanței și circulației curenților armonici într-o rețea funcționînd în regim deformant

Conf. dr. ing. ILIE POPESCU, prof. dr. ing. DUMITRU BĂRBULESCU, ș.l. IUSTINA ZAHARIA, dr. ing. NICOLAE SUFLEȚEL*

Descriptori: regim deformant, receptoare neliniare

În lucrare se analizează circulația curenților armonici într-o rețea electrică ce alimenzează receptoare neliniare și liniare. Se definesc coeficienții α_k care permit determinarea distribuției curenților armonici în rețea, precum și posibilitățile de apariție a unor regimuri de funcționare, de rezonanță pe armonice. Se face legătura între acești coeficienți și impedanțele armonice ale rețelei.

The paper analyzes harmonical currents ciculation within a network feeding non-linear and linear receivers. The coefficients α_k which enable the determination of harmonical currents distribution within a network, as well as the occurence possibilities of some operation regimes with resonance on the harmonics are defined. The interrelationship between these coefficients and the harmonic impedances of a network are set up.

Introducere

Este cunoscut faptul că rețelele electrice care alimentează consumatori deformanți de mare putere sînt forțate să lucreze în regim permanent nesinusoidal, fiind parcurse de curenți care conțin pe lîngă componenta fundamentală și o sumă de armonice. Prezența armonicelor afectează defavorabil funcționarea echipamentelor electrice și electronice racordate la rețeaua poluată de armonice.

Sînt cunoscute două tipuri de surse producătoare de armonice în rețelele electrice. Astfel, armonicele de curent sînt generate de mutatoare (redresoare de mare putere) de orice tip, cuptoare electrice cu arc, instalații de sudură și altele, în timp ce armonicele de tensiune se datoresc mașinilor electrice și căderilor de tensiune pe elementele de rețea prin care circulă curenți nesinusoidali.

Rețelele electrice trifazate pot fi parcurse de armonice de curenți de diferite ordine, cu excepția componentei de c.c., care este eliminată din rețea datorită prezenței transformatoarelor, prin intermediul cărora se efectuează alimentarea consumatorilor deformanți.

În această lucrare se definește noțiunea de curent armonic, prin valoarea efectivă a curenților pe armonicele superioare exceptînd componenta continuă a curentului, respectiv:

$$I_a = \sqrt{\sum_{2}^{\infty} I_k^2}, \qquad (1)$$

unde:

I_a este valoarea efectivă a curentului armonic;

I_k — valoarea efectivă a armonicei de curent de rang k.

1. Efectele armonicelor asupra instalațiilor energetice

Armonicele de curent și de tensiune produc efecte nedorite, care afectează siguranța în funcționare a rețelei și echipamentelor conectate la rețeaua poluată de armonice. Se citează în acest sens următoarele efecte:

— în cazul îndeplinirii condiției de rezonanță pe una din armonicele din spectrul curentului sau tensiunii se pot produce supratensiuni periculoase pentru echipamentele conectate la rețea, care pot avea ca urmare străpungerea izolației acestora (baterii de condensatoare, transformatoare sau alte instalații);

— circulația armonicelor de curent produce încălziri suplimentare, care reduc durata de viață a echipamentelor electrice;

— circulația armonicelor superioare în rețele poate fi însoțită de interferența cu circuitele telefonice, producînd distorsiunea transmisiei informației;

— echipamentele de măsură și protecție, proiectate să funcționeze sub semnal sinusoidal la frecvență 50 Hz, produc erori, datorită prezenței armonicelor, determinînd o funcționare necorespunzătoare a aparatelor de măsură, protecție și comandă;

— existența armonicelor în rețele și în instalațiile racordate la acestea determină creșterea pierderilor de putere activă și modifică factorul de putere.

Întrucît siguranța în funcționare a instalațiilor energetice este afectată, în bună măsură,

* Conf. dr. ing. Ilie Popescu, prof. dr. ing. Dumitru Bărbulescu, ș.l. Iustina Zaharia — Institutul Politehnic Iași, dr. ing. Nicolae Suflețel — I.R.E. Suceava

de prezența armonicelor în rețele, în cele ce urmează se analizează circulația curenților armonici și se determină ponderea acestora funcție de configurația rețelei ce alimentează consumatori deformanți (generatori de armonice în rețea).

2. Determinarea curenților armonici în rețele electrice care alimentează consumatori deformanți

În cazul rețelelor electrice care alimentează receptoare neliniare, curenții armonici produși de aceștia vor circula spre sistemul energetic, spre bateriile de condensatoare în principal (în absența filtrelor) și, de asemenea, spre ceilalți consumatori liniari.

În cele ce urmează se consideră o stație de transformare care alimentează atît receptoare neliniare, cît și liniare și care se conectează împreună cu bateria de condensatoare pentru ameliorarea factorului de putere (fig. 1).

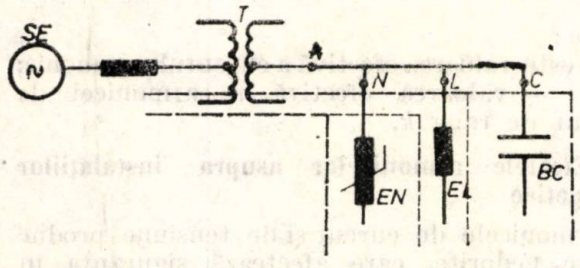


Fig. 1. Stație de transformare care alimentează receptoare liniare și neliniare.

Din schema stației de transformare se desprind două situații diferite de funcționare în raport cu natura receptorului:

a) Cazul în care stația de transformare alimentează în principal receptoare neliniare.

Schema echivalentă pe armonice pentru acest caz este reprezentată în figura 2 în care R_s, X_s sînt rezistența și reactanța pe fundamentală a sistemului, inclusiv transformatorul de alimentare T; X_C reactanța bateriei de condensatoare pe fundamentală și GA generatorul de armonice echivalent receptorului neliniar.

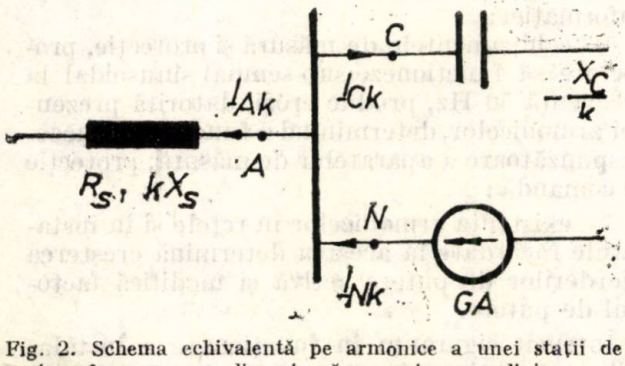


Fig. 2. Schema echivalentă pe armonice a unei stații de transformare ce alimentează receptoare neliniare.

Curenții armonici transmiși în rețea prin punctul A, depind de structura rețelei, de prezența și capacitatea bateriei de condensatoare și pot fi exprimați în funcție de curenții armonici I_{Nk} produși de GA prin relațiile:

$$I_{Ak} = \underline{\alpha}_k \underline{I}_{Nk}; \; k = 2,3,\ldots \tag{2}$$

$$\underline{I}_{Ck} = (1 - \underline{\alpha}_k)\underline{I}_{Nk} \tag{3}$$

Neglijînd rezistența R_s a sistemului în raport cu reactanța pe armonice ($kX_s \gg R_s$) se obține:

$$\alpha_k = \frac{X_C}{X_C - k^2 X_s}. \tag{4}$$

În relațiile precedente α reprezintă coeficientul de repartiție al armonicelor de curent în rețea și depinde de reactanțele pe fundamentală a BC (X_C) și a sistemului (X_s).

Între valorile efective ale curenților armonici din rețeaua de alimentare din figura 1 există relația:

$$I_{Nk} = |I_{Ak} - I_{Ck}|. \tag{5}$$

b) Cazul în care stația de transformare alimentează atît receptoare neliniare, cît și liniare.

Schema echivalentă pe armonice este reprezentată în figura 3, în care receptorul liniar este caracterizat de parametrii R, X pe fundamentală.

Armonica de rang k a curentului absorbit de rețea se definește în funcție de coeficientul α_k cu relația (2), iar armonica de curent I_{Ck} absorbită de BC în acest caz devine:

$$\underline{I}_{Ck} = (1 - \underline{\alpha}_k)\underline{I}_{Nk} - \underline{I}_{Lk}. \tag{6}$$

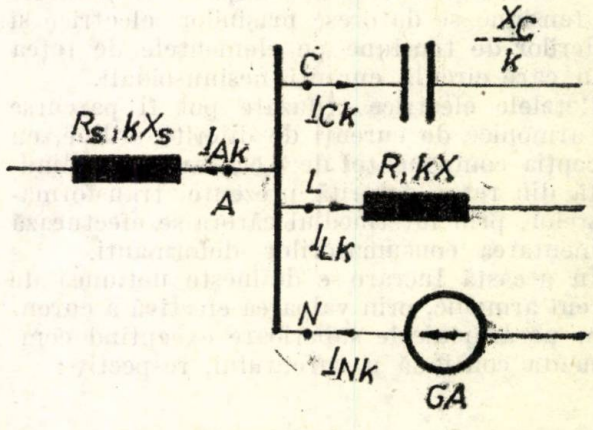


Fig. 3. Schema echivalentă pe armonice a unei stații de transformare care alimentează receptoare liniare și neliniare.

Deoarece, la frecvențele armonicelor din sistem 5, 7, 11, 13*** rezistențele se pot neglija în raport cu reactanțele pe armonicele respec-

tive, se obține următoarea expresie a coeficientului α_k:

$$\alpha_k = \frac{1}{1 + \frac{X_s}{X \cdot X_C}(X_C - k^2 X)} \tag{7}$$

În acest caz între valorile efective ale curenților (vezi fig. 1 și fig. 3) există relația:

$$I_{Nk} = |I_{Ak} + I_{Lk} - I_{Ck}| \tag{8}$$

care pune în evidență circulația curenților armonici în rețeaua considerată.

Analiza coeficientului α_k poate pune în evidență existența unor regimuri de funcționare apropiate de rezonanță. De asemenea, se definește coeficientul α de repartiție a curentului armonic I_{Aa} în rețea cu relația:

$$\alpha = \frac{I_{Aa}}{I_{Na}} \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} I_{Ak}^2}{\sum_{k=2}^{\infty} I_{Nk}^2}} = \frac{I_{Aa}}{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_{Ak}^2/\alpha_k^2}} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \alpha_k^2 I_{Nk}^2}}{I_{Na}}. \tag{9}$$

Coeficientul α depinde de structura rețelei electrice (prin intermediul coeficientului α_k), precum și de valorile efective ale armonicelor de curent I_{Nk} produse de receptorul neliniar.

Spre exemplu, în cazul rețelelor electrice trifazate care alimentează redresoare de putere trifazată, curentul de linie în primarul transformatorului T conține armonice de curent a căror amplitudine se aproximează în literatură cu relația:

$$I_{Nk} = I_{N1}/k. \tag{10}$$

În acest caz, frecvent întîlnit, expresia coeficientului α devine:

$$\alpha = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \left(\frac{\alpha_k}{k}\right)^2 \Big/ \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k^2}}, \tag{11}$$

valoarea sa fiind independentă de sarcina receptorului neliniar.

Coeficientul α se poate determina și pe cale experimentală. În cazul a) utilizînd relațiile (5) și (9) se obține:

$$\alpha = I_{Aa} \Big/ \sqrt{I_{Aa}^2 + I_{Ca}^2 - 2 \sum_{k=2}^{\infty} I_{Ak} \cdot I_{Ck}} \tag{12}$$

unde:

$$I_{Aa} = k_{dA} I_A; \quad I_{Ca} = k_{dC} I_C, \tag{13}$$

în care: I_A, I_C — valorile efective ale curenților în punctele A și C (indicate de ampermetrele din stația de transformare); k_{dA}, k_{dC} factorii lor de distorsiune (măsurați cu distorsiometrul).

Din relațiile (12) și (13) se obține:

$$\alpha = k_{dA} I_A \Big/ \sqrt{k_{dA}^2 I_A^2 + k_{dC}^2 I_C^2 - 2 \sum_{k=2}^{\infty} I_{Ak} I_{Ck}} \tag{14}$$

în care I_{Ak}, I_{Ck} se pot determina cu ajutorul unui analizor de armonice.

O relație asemănătoare se poate obține și pentru cazul b) utilizînd relațiile (8) și (9).

Coeficienții α_k pot pune în evidență posibilitatea apariției regimurilor de rezonanță, circulația curenților armonici și permit determinarea coeficientului global α.

Coeficientul α, la rîndul său, permite determinarea curentului armonic corespunzător tuturor elementelor reactive conectate la același sistem de bare cu relația:

$$I_{Na} = \frac{I_{Aa}}{\alpha} = \frac{k_{dA} I_A}{\alpha}, \tag{15}$$

în care α nu depinde în general de sarcină, iar k_{dA} și I_A se măsoară în punctul A. În funcție de curentul armonic I_{NA} (rel. (11) și rel. (12)), se pot determina puterile active și energiile active armonice P_{Aa} și W_{Aa} disipate în rețele electrice.

$$P_{Aa} = 3R_s I_{Aa}^2 = 3R_s \alpha^2 k_{dN}^2 I_N^2 \tag{16}$$

$$W_{Aa} = \int_0^t P_{Aa} \mathrm{d}t = 3 \int_0^t R_s \alpha^2 k_{dN}^2 I_N^2 \mathrm{d}t =$$

$$= 3R_s \alpha^2 \int_0^t k_{dN}^2 I_N^2 \mathrm{d}t \tag{17}$$

3. Impedanța rețelei electrice la frecvența armonicelor

Impedanța rețelei electrice $\underline{Z}_k$ determinată pe barele la care este conectat receptorul deformant (GA) se poate exprima prin relația:

$$\underline{Z}_k = \underline{\alpha}_k \underline{Z}_{sk}, \tag{18}$$

în care $\underline{\alpha}_k$ este coeficientul de repartiție al armonicelor de curent în rețea; $\underline{Z}_{sk}$ este impedanța pe armonice a sistemului de forma:

$$\underline{Z}_{sk} = R_s + jkX_s \tag{19}$$

Întrucît coeficientul α_k se poate admite pur reactiv, rezultă că determinarea frecvențelor de rezonanță implică $\alpha_k = 0$. Dacă cel puțin una din frecvențele de rezonanță obținute coincide cu rangul aronicelor generate de receptorul neliniar ($k = 4, 5, 7, \cdots$) atunci pentru a determina curenții armonici la rezonanță este necesar să se studieze impedanța rețelei $\underline{Z}_k$.

Pentru circuitul din figura 2 impedanța $\underline{Z}_k$ devine de forma:

$$\underline{Z}_k = \frac{R_s}{1 - k^2\frac{X_s}{X_c} + k^4\frac{X_s^2}{X_c^2}} + \frac{X_s - \frac{R^2}{X_c} - k^2\frac{X_s}{X_c}}{1 - k^2\frac{X_s}{X_c} + k^4\frac{X_s^2}{X_c^2}} \qquad (20)$$

$$\frac{X_s}{X_c} = a\,;\ \frac{R}{X_c} = b\,;\ a,b \in [0,1]$$

$$\underline{Z}_k = \frac{R_s}{1 - ak^2 + a^2k^4} + jk\frac{X_c(a - b^2) - ak^2}{1 - ak^2 + a^2k^4} = R_k + jX_k \qquad (21)$$

Se trasează caracteristica loc geometric $\underline{Z}_k(k)$ determinînd cu ajutorul calculatorului numeric $R_k(k)$ și $X_k(k)$ pentru $1 < k < 30$ ($50\ \text{Hz} < f < 1500\ \text{Hz}$) și caracteristica de frecvență a modulului impedanței $Z_k(k)$ (fig. 4*a* și *b*).

Deoarece curenții și tensiunile armonice iau valori extreme pentru pulsații ce diferă de pulsațiile de rezonanță, în genere, studiul circulației curenților armonici se finalizează prin caracteristicile de frecvență ale impedanței.

Pentru circuitul din figura 3 s-au trasat aceleași caracteristici de frecvență (fig. 5 a și b) pentru $R = 0$:

$$\underline{Z}_k = \frac{bk^2}{b^2(1 - ak^2)^2 + k^2(1 + c - k^2ac)^2} + jk\frac{b^2(1 - ak^2) + k^2c(1 + c - k^2ac)}{b^2(1 - ak^2)^2 + k^2(1 + c - k^2ac)^2}$$

$$a = \frac{X}{X_c}\,;\quad b = \frac{R_s}{X_s}\,;\quad c = \frac{X}{X_s}\quad a \approx 1\,;b,\ c \in [0,1] \qquad (22)$$

S-au studiat diagramele loc geometric de frecvență și pentru cazul în care $R \neq 0$, (fig. 3) pentru care relațiile de calcul ale impedanței complexe $\underline{Z}_k$ sînt complicate și necesită utilizarea calculatorului numeric. S-au trasat aceleași caracteristici de frecvență (fig. 6), care nu diferă mult de cele din cazul precedent, influența rezistenței R modificînd destul de puțin partea reală și modulul impedanței.

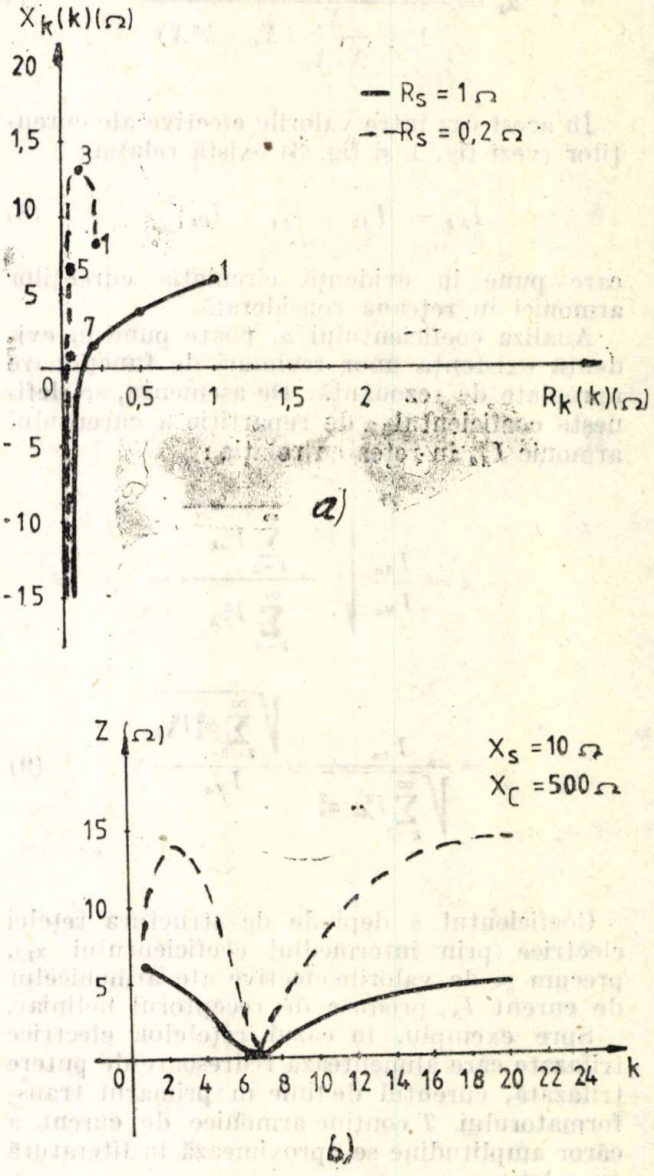


Fig. 4. Impedanța calculată la 6 kV pentru circuitul din figura 2: a — locul geometric al impedanței complexe; b — modulul impedanței în funcție de frecvență.

Concluzii

1. Circulația armonicelor de curent în rețele electrice care alimentează consumatori deformanți depinde de structura rețelei electrice, de prezența bateriei de condensatoare, precum și de sarcina receptorului conectat la rețeaua respectivă.

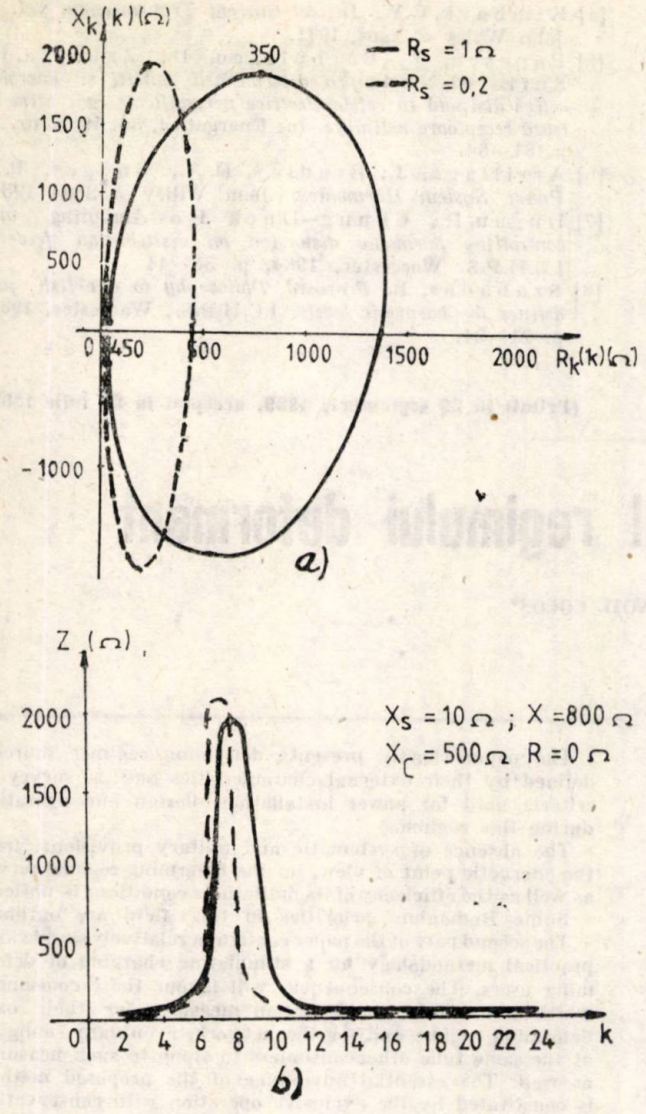


Fig. 5. Impedanța calculată la 6 kV la sarcină minimă pentru circuitul din figura 3: a — locul geometric al impedanței complexe $Z\,(k)$; b — modulul impedanței în funcție de frecvență.

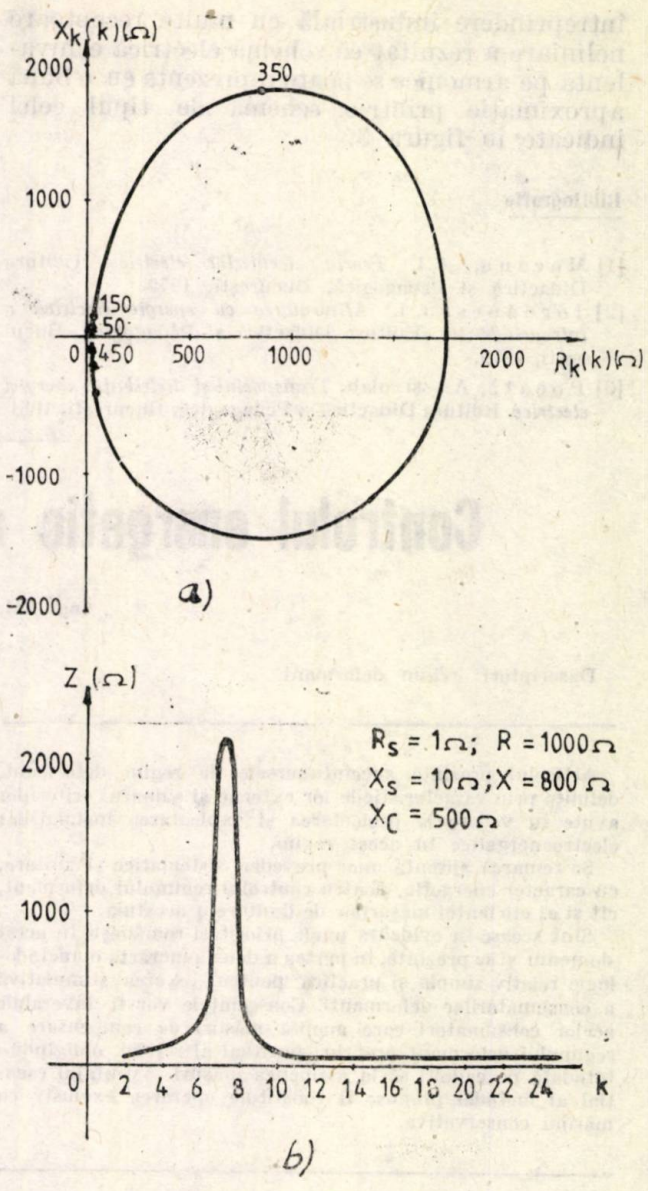


Fig. 6. Impedanța calculată la 6 kV la sarcină maximă pentru circuitul din figura 3: a — locul geometric al impedanței complexe $Z\,(k)$; b — modulul impedanței în funcție de frecvență.

2. Sensul de circulație al curenților armonici, precum și apariția regimurilor de rezonanță pe armonice pot fi determinate cu ajutorul unor coeficienți α_k — propuși în această lucrare — care se calculează în funcție de structura rețelei. Coeficienții α_k indică suprasolicitarea pe armonice a principalelor elemente de rețea (baterii de condensatoare, transformatoare), avînd consecințe asupra siguranței în funcționare a rețelei electrice.

3. Din diagramele loc geometric și în special din caracteristica în funcție de frecvență a modulului impedanței, rezultă cazurile în care tensiunile armonice pe barele de 6 kV iau valori extreme (maxime), putînd depăși normativele în vigoare. Pentru armonicele existente în spectrul de curent se pot determina, pe aceste caracteristici, valorile efective ale armonicelor de curent în bateria de condensatoare și în transformator (în rețea).

4. Situația cea mai dezavantajoasă de funcționare apare atunci cînd o rețea electrică ce alimentează receptoare neliniare de tip redresor hexafazat, maximul caracteristicii $Z_k(k)$ se obține pentru $k = 5$ sau 7 sau pentru receptoare de tip dodecafazat, cînd maximul aceleiași caracteristici se obține pentru $k = 11$ sau 13.

5. Pe rețelele studiate se pot trage concluzii asupra influenței parametrilor rețelei, asupra frecvențelor de rezonanță și asupra valorilor maxime ale tensiunilor armonice pe bare.

6. Din datele experimentale, corespunzătoare unei stații electrice de 6 kV ce alimentează o

întreprindere industrială cu multe receptoare neliniare a rezultat că schema electrică echivalentă pe armonice se poate reprezenta cu o bună aproximație printr-o schemă de tipul celei indicate în figura 3.

Bibliografie

[1] Mocanu, C.I. *Teoria circuitelor electrice.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.

[2] Iordănescu, I. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.

[3] Poeată, Al. și colab. *Transportul și distribuția energiei electrice.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.

[4] Kimbark, E.W. *Dirrect Current Transmission,* vol. I. John Willey & Sons, 1971.

[5] Popescu, I., Bărbulescu, D., Zaharia, I., Sufleţel, N. *Asupra determinării puterii și energiei active disipată în rețele electrice neramificate care alimentează receptoare neliniare.* În: Energetica, 36, 1988, nr. 2, p. 81—84.

[6] Arrillaga, J., Bradley, D.A., Bodger, P.S. *Power System Harmonics,* John Willey & Sons 1984.

[7] Dugan, R., Chung—Duck Ko *Analyzing and controlling harmonic distorsion on distribution feeders.* I.C.H.P.S. Worcester, 1984, p. 38—44.

[8] Szabados, B. *Proposed Philosophy to establish guidelines for harmonic levels.* I.C.H.P.S., Worcester, 1984, p. 21—24.

(Primit la 29 septembrie 1989, acceptat la 27 iulie 1989)

Controlul energetic al regimului deformant

Ing. EMANOIL COCOȘ*

Descriptori: regim deformant

Articolul prezintă succint sursele de regim deformant, definite prin caracteristicile lor externe și sumarul criteriilor avute în vedere la proiectarea și exploatarea instalațiilor electroenergetice în acest regim.

Se remarcă absența unor prevederi sistematice și unitare, cu caracter energetic, pentru controlul regimului deformant, cît și al eficienței măsurilor de limitare a acestuia.

Sînt scoase în evidență unele priorități românești în acest domeniu și se prezintă, în partea a doua a lucrării, o metodologie relativ simplă și practică pentru taxarea stimulativă a consumatorilor deformanți. Consecințele vor fi favorabile acelor consumatori care adoptă măsuri de compensare a regimului deformant propriu, eventual al rețelei, obligîndu-i totodată pe ceilalți să ia asemenea măsuri. Avantajul esențial al metodei propuse îl constituie operarea exclusiv cu mărimi conservative.

The paper shortly presents deforming regimes sources, defined by their external characteristics and a survey of criteria used for power installations design and operation during this regime.

The absence of systematic and unitary provisions, from the energetic point of view, for the deforming regime survey as well as the efficiency of its limitations conditions is noticed.

Some Romanian priorities in this field are outlined.

The second part of the paper contains a relatively simple and practical methodology for a stimulating charging of deforming users. The consequences will favour these consumers which would take compensation measures for their own deforming regime and for the network, eventually, obliging at the same time other consumers to stoop to such measures as well. The essential advantage of the proposed method is constituted by the exclusive operation with conservative quantities.

În ultimul deceniu, atît pe plan mondial, cît și în țara noastră, s-au accentuat fenomenele, deformante la toate nivelurile de tensiune ceea ce a făcut să apară și să se generalizeze noțiunea de „poluare" a rețelelor electrice cu armonici ale tensiunii și curentului. Cauzele sînt multiple, însă cele mai importante, ca pondere, se pot considera următoarele :

— dezoltarea electronicii de putere — denumită uneori „electronică energetică" — pe care se bazează tehnica mutatoarelor, dispozitive utilizate în cele mai variate domenii : acționări, transporturi, electrometalurgie, transportul energiei electrice la mari distanțe, reglarea tensiunii și a puterii reactive, procese industriale de natură electrostatică etc. ;

— creșterea constantă, ca număr și putere absorbită, a consumatorilor neliniari de cele mai diverse tipuri și utilizări : cuptoare electrice cu arc, aparate de sudare electrică, iluminatul fluorescent, anumite tipuri de receptori electrocasnici etc. ;

— ridicarea nivelurilor de tensiune în exploatarea rețelelor de foarte înaltă tensiune, datorită aportului de putere reactivă al acestora, ceea ce poate duce la saturarea miezurilor magnetice ale mașinilor și aparatelor electrice, însoțită de apariția armonicilor de tensiune și curent.

Consumatorii deformanți posedă proprietatea tehnologică de fluxualizare a energiei electrice absorbite din rețea, pe alte frecvențe, corespunzînd îndeosebi unor armonici superioare. Conversia frecvențelor face ca acești consumatori să fie receptori de energie pe unele armonici (pe fundamentală, întotdeauna) și generatori

* Ing. Emanoil Cocoș — Intreprinderea Electrocentrale Constanța.

pe altele. De obicei, sursele de regim deformant se clasifică în două mari categorii :

a) surse de tensiuni armonice, la care curenţii generaţi pe armonicile superioare depind puternic de impedanţa reţelei, văzută din punctele de racord ale surselor respective ;

b) surse de curenţi armonici, la care dependenţa sus-menţionată este slabă sau foarte slabă.

În figurile 1 a şi b se exemplifică situaţia unui consumator deformant (CD), ca sursă de regim deformant.

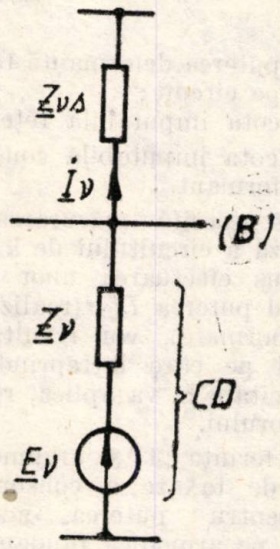


Fig. 1 a. Schema electrică monofilară echivalentă de racordare la reţea a unui consumator deformant: $Z_{\nu s}$ — impedanţa pe armonica ν a sistemului (reţelei); I_ν — curentul de armonică ν, generat de consumatorul deformant şi injectat în reţea; Z_ν — impedanţa internă, pe armonica ν a sursei; E_ν — t.e.m. intrinsecă, de armonică ν, a consumatorului deformant.

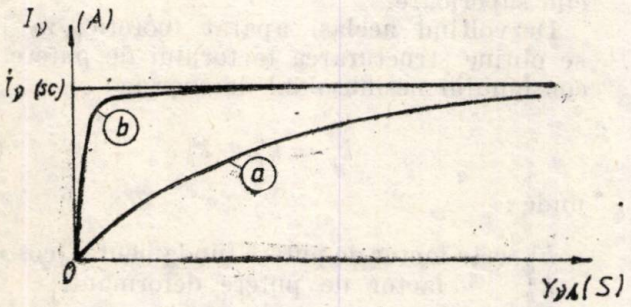


Fig. 1 b. Caracteristicile externe ale unor tipuri de consumari deformanţi: a — sursă de tensiuni armonice (caracteristică „moale"); b — sursă de curenţi armonici (caracteristică „dură"); $I_{\nu(sc)}$ — valoarea de scurtcircuit a curentului I_ν (corespunde la $Y_{\nu s} = \infty$).

Sînt evidente relaţiile :

$$\underline{Y}_{\nu s} = \frac{1}{\underline{Z}_{\nu s}}$$

$$\underline{I}_\nu = \frac{\underline{E}_\nu}{\underline{Z}_\nu + \underline{Z}_{\nu s}} \qquad (1)$$

La CD de tipul a din figura 1*b* (surse de tensiuni armonice), $Z_\nu \sim Z_{\nu s}$ şi caracteristica externă arată o dependenţă strînsă a valorii I_ν de valoarea $Y_{\nu s}$. În schimb, la CD de tip b (surse de curenţi armonici) $Z_\nu \gg Z_{\nu s}$, încît sub o anumită valoare a $Z_{\nu s}$, curentul I_ν nu mai depinde, practic, de impedanţa reţelei.

Apare evident că E_ν trebuie să aibă o valoare ridicată pentru ca în condiţiile unei impedanţe interne Z_ν de valoare ridicată, curentul I_ν să nu fie neglijabil.

Orice CD generează o întreagă paletă de armonici superioare : caracteristicile externe pot fi foarte diferite de la o armonică la alta. Arcul electric, de pildă, este cunoscut ca sursă de curenţi armonici însă cercetări recente [9] arată că, pe anumite frecvenţe, se comportă ca sursă de tensiuni armonice. Totodată, pe lîngă spectrul discontinuu de armonici superioare, arcul electric mai generează şi un spectru continuu. Amplitudinile şi fazele armonicilor sînt variabile permanent şi, în general, aleator.

Aspectele prezentate mai sus ilustrează foarte sumar marea complexitate a studiului regimului deformant indus în reţea de către consumatorii deformanţi. Problemele se complică, dacă se ţine seama de faptul că în afara CD şi a celorlalte elemente deformante de primă speţă — surse ale regimului deformant — sistemul electroenergetic mai posedă inductanţe şi capacităţi, elemente deformante de a doua speţă, amplificatoare de regim deformant [1]. Între toate aceste elemente, între armonicile de curent şi cele de tensiune, există o complexă condiţionare reciprocă [3].

Armonicile de curent şi de tensiune prezente din ce în ce mai supărător în instalaţiile electroenergetice nu sînt, în general, purtătoarele unor energii utile. Atît prin pierderile pe care le ocazionează *direct* (în conductoare, dielectrici şi circuite magnetice), cît şi prin cele pe care le determină *indirect* (scăderea randamentelor unor maşini, echipamente şi utilaje), armonicile de curent şi tensiune scad economicitatea funcţionării sistemului electroenergetic în ansamblul său. Regimul deformant implică şi inconvenienţe de ordin tehnic sau tehnologic, care se traduc, în cele din urmă, tot în dezavantaje economice.

Pe plan mondial, se manifestă tendinţa stabilirii şi definitivării restricţiilor impuse regimului deformant, în corelaţie cu efectele negative pe care le antrenează. Aceste restricţii se stabilesc prin indicatori adecvaţi, ale căror valori vor fi supuse, totuşi, în timp, reevaluărilor conform exigenţelor considerate optime de la caz la caz, de la firmă la firmă şi de la ţară la ţară [7, 8].

Normativul privind limitarea regimului deformant — PE 143/80 — reglementează următoarele grupe de probleme ale proiectării şi

exploatării instalațiilor electroenergetice din țara noastră :

a) parametrii ce caracterizează regimul deformant ;

b) nivelurile limită admisibile pentru parametri regimului deformant ;

c) măsurile pentru limitarea regimului deformant ;

d) metodologia de măsurare a parametrilor regimului deformant generat pe barele consumatorilor industriali, condițiile impuse aparatelor de măsură și prelucrarea datelor experimentale obținute, care să permită atestarea rezultatelor [13].

Reglementările aplicate în alte țări, precum și cele cu caracter internațional [8] impun, ca și PE 143/80, restricții de ordin calitativ, traduse în limitarea indicatorilor specifici regimului deformant. Se remarcă îndeobște absența unor prevederi cu caracter energetic pentru controlul regimului deformant și al eficienței măsurilor de limitare a acestuia, în general. Dificultatea stabilirii unor criterii energetice provine din imposibilitatea determinării și departajării pierderilor de energie ocazionate de existența regimului multiarmonic, în elementele instalațiilor electroenergetice.

Literatura de specialitate consemnează, totuși, unele încercări de abordare energetică a controlului regimului deformant. Vor fi prezentate în continuare, succint, cîteva priorități românești în acest domeniu.

1. Se cunoaște că instalarea filtrelor de armonici este, în general, justidicată economic de compensarea puterii reactive pe armonica fundamentală, compensare pe care o realizează condensatoarele filtrelor. Se aplică, evident, criterii de optimizare, care însă nu iau în discuție pierderile de putere pe armonicile superioare decît cel mult în elementele filtrelor [10]. La dimensionarea filtrelor absorbante se poate totuși predetermina o economie de energie, obținută prin reducerea pierderilor în rețea pe armonicile superioare, fapt cu totul nou, care aduce o justificare economică suplimentară și, mai ales, specifică acestor instalații. Economia de energie se poate predetermina global la proiectarea fiecărui echipament de filtrare și compensare, cît și în exploatare [12].

2. Există priorități românești în domeniul măsurării puterii deformante [2]. S-au confecționat aparate complexe, precum D-metrul și C-metrul (brevete R.S.R. nr. 60.573 și nr. 77.495). Aparatul D-metru măsoară puterea deformantă pe baza expresiei cunoscute :

$$D = U \,.\, I_d + U_d \,.\, I. \tag{2}$$

Se știe că puterea deformantă se conservă vectorial ; puterile deformante elementare se conservă de asemenea [2] ; dar puterea dată de relația (2) și măsurată cu aparate adecvate nu este o mărime conservativă și nu poate, prin urmare, sta la baza unor bilanțuri energetice.

În [11] se abordează mărimea D din alt unghi, propunîndu-se valorificarea acestei noțiuni ca indicator dinamic sintetic de calitate a energiei electrice și, totodată, a aparatelor realizate deja pentru măsurarea ei. Cu ajutorul mărimii D se poate departaja practic contribuția deformantă a rețelei de energie de contribuția oricărui consumator, la bara de racord a acestuia :

$$D_{CD} = D - D_{RE}, \tag{3}$$

în care :

D este puterea deformantă totală, măsurată pe circuit ;

D_{RE} — cota imputabilă rețelei de energie ;

D_{CD} — cota imputabilă consumatorului deformant.

Metoda necesită măsurarea puterii D pe fiecare fază a circuitului de legătură, în două etape, plus efectuarea unor calcule simple. Comparînd puterea D_{CD} (realizată) cu limitele impuse (normate), vor rezulta penalizări sau bonificații pe care întreprinderea furnizoare de electricitate le va aplica, respectiv acorda, consumatorului.

3. În referința [4] se argumentează teoretic sistemul de taxare a consumatorilor deformanți pentru puterea activă absorbită din rețea pe armonica fundamentală, aceasta incluzînd și puterea „deturnată" pe armonici și retrimisă în rețea, unde cauzează efectiv pierderi de energie și neajunsuri de ordin tehnic. Taxarea consumatorilor după acest sistem îi va obliga să-și ia măsuri de reducere a aportului deformant, iar pe cei liniari îi va absolvi de plata energiei recepționate, fără voia lor, pe armonicile superioare.

Dezvoltînd același aparat teoretic, în [5] se obține structurarea factorului de putere al consumului nesinusoidal de energie :

$$k_p = k_p^1 + k_p^d, \tag{4}$$

unde :

k_p^1 este factor de putere fundamental ($\cos\varphi_1$) ;

k_p^d — factor de putere deformant.

Avantajul esențial al punctelor de vedere expuse în [4] și [5] îl constituie operarea cu mărimi conservative (P, Q) ; pot apărea, totuși, probleme mai dificile la măsurarea unor mărimi de regim nesinusoidal (tensiuni, curenți, puteri) și de mixare a lor pe baza expresiilor stabilite teoretic.

În scopul escamotării unor asemenea dificultăți, ca cele menționate anterior, se prezintă în continuare o cale mai simplă și practică, în cadrul acelorași principii argumentate în [4] și [5].

Se consideră un consumator (receptor) liniar monofazat care absoarbe pe armonica fundamentală puterea P_{1c} (fig. 2). Sursa sinusoidală S produce puterea P_{1g}, din care rețeaua disipă sub formă de pierderi puterea P_{1r}.

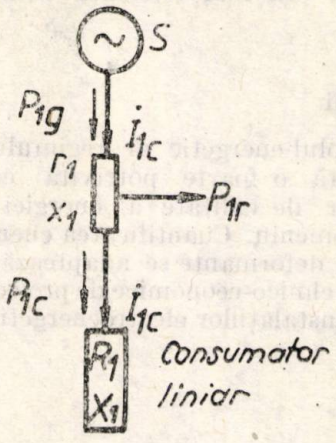


Fig. 2. Schemă electrică de alimentare de la rețea a unui consumator (receptor) liniar monofazat.

Atît rețeaua, cît și receptorul au fost reprezentate în schema echivalentă serie, cu rezistențele r_1, R_1 și reactanțele x_1, X_1 corespunzătoare armonicii fundamentale. Aceste elemente vor fi parcurse de curentul I_{1c} absorbit de consumator. Vom avea relațiile evidente :

$$P_{1c} = R_1 \cdot I_{1c}^2 \tag{5}$$

$$P_{1r} = r_1 \cdot I_{1c}^2 \tag{6}$$

$$P_{1g} = P_{1r} + P_{1c}$$

Prin generalizare, se poate trece de la cazul consumatorului liniar la cel al consumatorului deformant (CD) monofazat, alimentat de aceeași rețea (fig. 3).

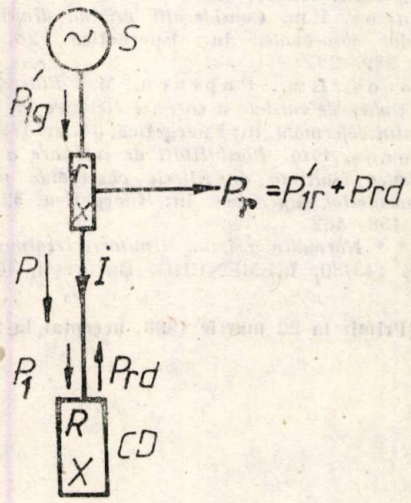


Fig. 3. Schema electrică echivalentă de alimentare de la rețea a unui consumator (receptor) deformant monofazat (CD).

Spre a putea compara cele două cazuri se va considera că și receptorul deformant consumă aceeași putere $P = P_{1c}$.
Relația :

$$P = P_{1c} = P_1 + P_d \tag{7}$$

arată structura puterii absorbite de CD. S-a notat cu :

P_1 — puterea furnizată pe armonica fundamentală de către sursa sinusoidală, S ;

P_d — puterea absorbită pe armonicile superioare de către CD.

Întrucît în rețea nu există surse pentru P_d, semnul real al acesteia va fi negativ, considerînd convenția de semne pentru puteri la bornele receptorului. Urmează, deci, că sursa acestei puteri este însuși CD [4].

Puterea P_d este sustrasă de către receptorul deformant din puterea P_1 și retrimisă în rețea unde se consumă, practic integral, sub formă de pierderi (P_{rd}), astfel încît :

$$P_{rd} = -P_d \Rightarrow P = P_1 - P_{rd}. \tag{8}$$

Deoarece prin ipoteză $P = P_{1c} = R_1 \cdot I_{1c}^2$, ținînd seama de (8) vom avea :

$$P_1 = P_{1c} + P_{rd} = R_1 I_{1c}^2 + P_{rd} = R_1 I_1^2 \tag{9}$$

în care R_1 este rezistența echivalentă pe armonica 1 a CD, aceeași cu rezistența echivalentă R_1 a consumatorului liniar, iar I_1 este curentul corespunzător puterii P_1 absorbită de CD.

Pierderile în rețea, ocazionate de trecerea curentului I_1 vor fi, ținînd seama de relațiile (9) și (6) :

$$P'_{1r} = r_1 \cdot I_1^2 = r_1\left(I_{1c}^2 + \frac{P_{rd}}{R_1}\right) = P_{1r} + \frac{r_1}{R_1} P_{rd}, \tag{10}$$

unde cu r_1 s-a notat rezistența echivalentă pe armonica 1 a rețelei, aceeași cu rezistența echivalentă r_1 din cazul receptorului liniar.

Pierderile totale în rețea vor fi egale cu :

$$P_r = P'_{1r} + P_{rd} = P_{1r} + \left(1 + \frac{r_1}{R_1}\right) P_{rd}. \tag{11}$$

Comparînd pierderile în rețea în cele două cazuri analizate, se constată că în cel al consumatorului deformant se înregistrează suplimentar pierderile :

$$P_{r\,supl.} = P_r - P_{1r} = \left(1 + \frac{r_1}{R_1}\right) P_{rd} = -$$

$$- \left(1 + \frac{r_1}{R_1}\right) P_d. \tag{12}$$

Consumatorul va trebui taxat, prin urmare, pentru puterea :

$$P_{tax.} = P + P_{supl.} \tag{13}$$

Cu (8) şi (12), relaţia (13) devine :

$$P_{tax.} = P_1 - \frac{r_1}{R_1} P_d = P_1 + \frac{r_1}{R_1} P_d. \tag{14}$$

Se poate aplica şi următoarea formulă echivalentă, dedusă din (14) cu ajutorul relaţiilor (8) şi (9) :

$$P_{tax.} = P_1 + r_1 I_1^2 \left(1 - \frac{P}{P_1}\right). \tag{15}$$

Ideal ar fi ca energia consumată să se înregistreze de către un dispozitiv de contorizare programat pe baza uneia dintre relaţiile stabilite pentru $P_{tax.}$. Spre simplificare, la grupul de măsură existent al CD, care înregistrează energia consumată corespunzător puterii P, se poate ataşa un dispozitiv de contorizare a pierderilor suplimentare. Mărimea r_1, care participă la stabilirea $P_{tax.}$ sau $P_{r.sxpl}$ cu o valoare medie, se poate afla prin determinări periodice sau calcule efectuate de întreprinderea furnizoare de electricitate.

Pierderile suplimentare de energie se mai pot determina periodic, prin măsurători şi calcule şi adiţiona la energia înregistrată de dispozitivele de contorizare existente.

Taxarea CD pentru pierderile suplimentare de energie pe care le cauzează reţelei îl va constrînge să ia măsuri de diminuare a aportului său deformant, încît P_d să scadă cît mai mult [4, 5]. Prin instalarea de filtre absorbante de armonici, un consumator îşi reduce contribuţia deformantă, putînd chiar absorbi din reţea o anumită cantitate de energie, pe alte frecvenţe decît fundamentala ; într-o asemenea situaţie, relaţia (14) ne arată că $P_{tax.} < P_1$ şi consumatorul va fi, practic, bonificat. Consumatorii liniari se pot plasa oricînd într-o asemenea situaţie favorabilă. Rezultatul apare ca logic, întrucît în acest mod toţi consumatorii vor fi stimulaţi să contribuie la diminuarea regimului deformant al reţelei de energie. Rămîne, desigur, ca fiecare să se preocupe şi de compensarea puterii reactive absorbite, pe căile proprii cunoscute, încît factorul de putere pe armonica fundamentală să fie cel puţin egal cu cel neutral. Pentru consumatorii deformanţi, măsurile de compensare a regimului deformant şi a celui reactiv se conjugă instalarea de filtre absorbante de armonici în scheme adecvate, putînd rezolva concomitent ambele probleme, pe calea cea mai eficientă cunoscută la ora actuală.

Concluzii

Controlul energetic al regimului deformant reprezintă o foarte potrivită completare a normelor de calitate a energiei electrice, în acest domeniu. Cuantificarea energetică a fenomenelor deformante se adaptează perfect criteriilor tehnico-economice de proiectare şi exploatare a instalaţiilor electroenergetice, în ansamblul lor.

Bibliografie

[1] Budeanu, C. *Aspecte tehnice ale fenomenelor reactive şi deformante.* In: Electricitatea, nr. 2—3, Bucureşti, 1951.

[2] Antoniu, I.S. *Bazele electrotehnicii.* Vol. II, EDP. Bucureşti, 1974.

[3] Antoniu, I.Ş., Stănciulescu, Fl. *Corelaţia între fenomenele deformante şi neliniaritatea circuitelor electrice.* În: Studii şi cercetări de energetică, Bucureşti, 1961, p. 701—706.

[4] Ţugulea, A. *Consideraţii privind efectele energetice ale regimului deformant.* În: Energetica, 34, nr. 1/1986, p. 27—31.

[5] Ţugulea, A. *Factorul de putere în regim deformant.*, În: Energetica, 34, nr. 9/1986, p. 407—413.

[6] Antoniu, I. S., Mihăileanu, C. O *chestiune de prioritate.* În: Energetica, 32, nr. 1/1984, p. 14—24.

[7] Maynaud, P. ş.a. *Harmonics, characteristic parameters, methods of study, estimates of existing values în the network CIGRE,* Electra nr. 77, iulie 1981, pag. 35—54.

[8] Chanas, M. *Perturbation de tension affectant le fonctionnement des rèseaux: fluctuation brusques, flicker, déséquilibres et harmoniques.* In: RGE, 87, nr. 12, decembrie 1978.

[9] Sundberg, Y. *Influence du four à arc sur le réseau* In: ASEA Revue, nr. 5, 1976.

[10] Cocoş, Em. *Consideraţii privind dimensionarea filtrelor absorbante.* In: Energetica, 28, nr. 7/1980, p. 289—297.

[11] Cocoş, Em., Popescu, M. *Puterea deformantă — indice de calitate a energiei electrice în condiţiile regimului deformant.* În: Energetica, 34, nr. 1/1986, p. 31—37

[12] Cocoş, Em. *Posibilităţi de evaluare a eficienţei economice realizată de filtrele absorbante prin stingerea armonicilor superioare.* In: Energetica, 32, nr. 10/1984, p. 458—462.

[13] * * * *Normativ privind limitarea regimului deformant,* PE 143/80, ICEMENERG, Bucureşti, 1980.

(Primit la 22 martie 1988, acceptat la 27 iulie 1989)

Gazul de sinteză—sursă de materii prime și energie

Dr. ing. GRIGORE POP, ing. GAVRIL MUSCA, chim. CORNELIA CIOBANU,
ing. AUREL MILEA, ing. CRISTIAN TEODORESCU*

Descriptori: gaz de sinteză

În condițiile actualei crize de materii prime și de energie, declanșată pe plan mondial încă din 1972, este necesar să se găsească soluții capabile să asigure menținerea unui ritm ridicat al dezvoltării industriale, deci surse neconvenționale, tehnologii viabile.

Această situație a generat și în țara noastră preocupări ale specialiștilor în vederea asigurării cu materii prime și cu energie a tuturor ramurilor industriale. Industria chimică, mare consumatoare de energii primare (C și H_2) conținute de sursele epuizabile, trebuie să-și asigure o nouă bază, utilizînd alte surse, dintre care cele mai viabile sînt cele bazate pe cărbunele inferior, biomasă regenerabilă, reziduuri petroliere.

Pe această linie specialiștii au studiat utilizarea gazului de sinteză obținut la gazeificarea surselor de mai sus prin chimizare, în direcții de perspectivă, și anume: obținerea de combustibili sintetici, materii prime pentru sinteză de detergenți sau hidrocarburi de greutate mică, C_2—C_4, etilenă și propilenă, cap de serie în industria chimică de sinteză.

Au fost puse la punct sisteme catalitice bazate pe metale obișnuite, ce se găsesc în economia națională, de exemplu fierul, care, cu ajutorul unor promotori și activatori în condiții de parametri diferiți, a dat conversii selective ale gazului de sinteză la produși chimici valoroși obținuți din alte surse decît cele convenționale: petrol și gaz metan.

În experimentările ce se vor realiza la nivel pilot în instalații experimentale care folosesc gaz de sinteză obținut prin gazeificarea cărbunilor inferiori, a biomasei lemnoase sau a cocsului de petrol se vor obține tehnologii, viabile, capabile de aplicabilitate industrială în perioada de după 1990.

Under the present raw material and energy crisis, unconventional sources and reliable technologies are necessary to be developed.

This background has also generated concern in our country for ensuring the raw material and energy supply of all industrial branches. The chemical industry — great consumer of the primary energy (C and H_2) contained in depletable sources — should develop a new basis with utilisation of unconventional sources, among which the most reliable are those based on low-grade coal, renewable biomass and oil wastes.

The specialists have studied the utilisation of the synthesis gas obtained by gasification of the above mentioned sources, by chemically processing along the following long term trends: generation of synthetic fuels, raw materials for detergent synthesis, low weight hydrocarbons, ethylene and propylene and so on.

Catalytic systems have been set up on available ordinary metals, such as iron, which, by mean of certain promoting and activating agents, determines synthesis gas selective conversions to valuable chemical products.

În ultimii ani, în formularea opțiunilor privind soluțiile capabile să asigure menținerea unui ritm ridicat al dezvoltării industriale a oricărei țări, a intervenit restricția severă a crizei de materii prime și de energie, semnalată încă din 1972 de către „Clubul de la Roma", în lucrarea sa „Limitele creșterii" în care pentru prima dată s-a atras atenția asupra naturii finite și ireversibile a surselor combustibililor fosili [1,2,3]. Datorită importanței ei, problema crizei de materii prime și energie a constituit o preocupare stringentă pentru toți specialiștii, inclusiv a acelora din țara noastră, în vederea depistării de noi surse, altele decît cele convenționale, cum sînt petrolul și gazul metan [4].

Unul dintre marii consumatori de materii prime și de energie, recunoscut în economia țării noastre, îl reprezintă industria chimică și petrochimică, industrie care folosește cu precădere energiile primare (C și H_2) conținute de surse epuizabile, motiv ce determină o atenție și o preocupare deosebită în strategia dezvoltării viitoare a acestei ramuri industriale. Pe măsura industrializării țării și a mecanizării agriculturii, cerințele față de industria chimică și petrochimică au crescut continuu. Aportul chimiei recunoscut ca furnizor de materii prime pentru principalele ramuri ale economiei naționale contribuie la realizarea unor ritmuri rapide și substanțiale ale economiei naționale. Statisticile privind situația materiilor prime și a energiei pe plan mondial, a evoluției consumului purtătorilor de energii primare pînă în anul 2000, atrag atenția asupra următoarelor aspecte privind industria chimică:

a) Sfîrșitul secolului XX, va marca o scădere a ponderii petrolului în consumul mondial

* Dr. ing. Grigore Pop, ing. Gavril Musca, chim Cornelia Ciobanu, ing. Aurel Milea, ing Cristian Teodorescu — Institutul de Energetică Chimică și Biochimică, București

Tabelul 1

Compoziția chimică a gazului de sinteză obținut prin gazeificarea diferitelor surse

Materia primă	Procedeul de gazeificare	Compoziția chimică a gazului brut % în vol				Raport molar H_2 : CO
		H_2	CO	CO_2	inerte și alte gaze	
Gaz metan	Reformare	75	13	10	2	5,8
Fracție „Nafta"	Reformare	71	15	12	2	4,7
Ulei greu	Oxidare parțială	46	47	4	3	0,98
Cărbune	Oxidare parțială	31	58	5	6	0,53

(1,1% la petrol față de indicele mediu anual de creștere al cărbunelui de 2,8%) și înlocuirea lui treptată, dar nu totală, cu alte surse, de exemplu hidrogen, gaze combustibile obținute prin gazeificarea sau lichefierea oricărui material ce conține carbon în moleculă (de exemplu : deșeuri menajere, reziduuri petroliere, biomasă regenerabilă, cărbune inferior).

b) În strategia dezvoltării și fundamentării unor decizii privind echilibrarea balanței energetice și de materii prime pentru industria chimică trebuie să se aibă în vedere că :

— rezolvarea problemelor energetice admite și alte surse bazate pe energii neconvenționale cunoscute, pe cînd industria chimică de sinteză are ca bază de materii prime numai hidrocarburile, cărbunele, biomasa, deșeurile menajere ;

— trebuie modificată concepția energetică clasică existentă prin legiferarea simultaneității fenomenului de consum de energii primare începînd cu cele clasice : petrol, cărbune, gaz metan și terminînd cu cele potențiale cum ar fi : biomasă regenerabilă, șisturi bituminoase, cocs, gudroane de cărbune sau petrol, energie solară, geotermală, energia vîntului, mareele, hidrogenul, energia atomică.

Existența în țara noastră a acestor surse intensive provoacă un interes major în încercarea de utilizare a acestora pentru industria chimică [5].

c) Chimizarea gazului de sinteză împreună cu alte procese formează un domeniu modern, sub denumirea de „chimia C_1", în care s-au introdus toate tehnologiile de sinteză de molecule multicomponent din materii prime care conțin un singur atom de carbon în moleculă de exemplu monoxidul de carbon, dioxidul de carbon, metanolul, metanul etc.

Caracteristicile gazului de sinteză utilizat în chimizare

Folosirea surselor care conțin carbon în moleculă prin intermediul gazului de sinteză prezintă următoarele avantaje :

— carbonul conținut de cărbunii inferiori, biomasă, deșeuri menajere și reziduuri petroliere este utilizat economic (100%) numai prin chimizare;

— prețul acestui carbon este aproximativ la jumătate față de cel conținut de etilena petrochimică [7]. Carbonul se găsește în diferite surse, dintre care cele regenerabile sau sursele din care carbonul rezultă ca produs secundar de fabricație sînt foarte importante.

Compoziția chimică a gazului de sinteză obținut din diferite surse supuse gazeificării se prezintă în tabelul 1. În funcție de materia primă aleasă, compoziția chimică a gazului de sinteză brut este foarte diferită. Parametrul cel mai important al gazului de sinteză în vederea chimizării lui este raportul molar H_2 : CO care depinde mult de procedeul de gazeificare și în mai mică măsură de materia primă [9, 10] (tabelul 2).

Diferitele sinteze chimice reclamă un raport CO : H_2 diferit (tabelul 3). Gazeificarea oricărei surse cu carbon are loc totdeauna în două trepte : în prima treaptă materia primă se gazeifică printr-un procedeu de oxidare parțială

Tabelul 2

Compoziții de gaz brut, procedee de gazeificare

Component, % vol.	Procedeul Lurgi		Procedeul Winkller		Procedeul Koopers-Totzek	
	lignit	huilă	lignit	huilă	lignit	huilă
CO_2	30,1	32,7	14,3	24,0	11,7	10,2
CO	19,7	17,0	45,5	31,6	60,0	59,4
H_2	37,2	39,2	36,4	41,0	26,1	28,2
Inerte	0,5	1,4	1,1	2,0	1,9	1,9
CH_4	11,8	8,5	2,4	1,0	0,1	0,1
H_2S	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
C_nH_n	0,4	0,6	—	—	—	—

Tabelul 3

Raporturi molare ale gazului de sinteză reclamate pentru diferite sinteze chimice

Produsul chimic / Raport molar H_2:CO	NH_3	SFT	CH_3COOH	CH_3OH	Alcooli —oxo	CH_3CH_2OH
H_2 : CO	10^5	1—2,3	0,03	2—2,3	1— 1,2	1—1,5
Reactanți	—	—	CH_3OH	—	C_nH_n	CH_3OH
Suplimentări de gaze	N_2	Inerte	—	—	Inerte	—

la gaz brut, care în treapta a doua se purifică și se convertește, obținîndu-se o compoziție chimică și un raport molar dorit, pentru un consumator ales (vezi tabelele 2 și 3).

Gazeificarea oricărei surse decurge în toate cazurile cu ajustarea raportului molar și cu îndepărtarea impurităților (H_2S, SO_2, HCN, NH_3, CO_2, COS). Purificarea gazului de sinteză brut se impune din motive ecologice, pe de o parte, și din motive economice, pe de altă parte. Pentru condițiile de puritate se folosesc metode de absorbție fizică sau chimică, conversie catalitică, fracționare termică. Chimizarea gazului de sinteză se poate efectua fie prin conversie directă, fie indirectă (fig. 1).

Procedeele de fabricare a alcoolului metilic sînt deja industrializate, chimizarea lui este o direcție de perspectivă. Obținerea de metan sau de hidrocarburi lichide și gazoase reprezintă o altă direcție de viitor în domeniul „chimiei C_1", prin faptul că aceste tehnologii pot fi realizate prin utilizarea actualei infratructuri existente în industria chimică. În conformitate cu această schemă, plecînd de la

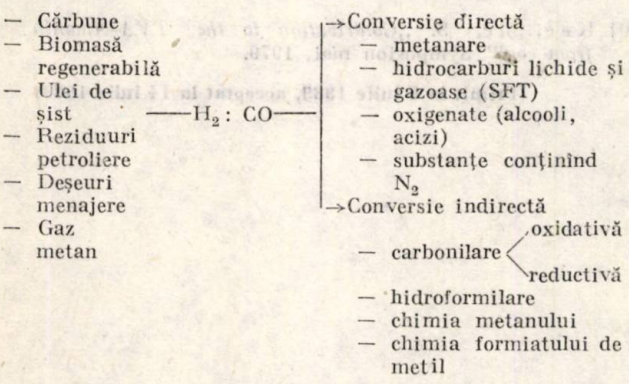


Fig. 1. Chimicale C_1 din gaz de sinteză.

materii prime neconvenționale putem obține toată gama de produși chimici, existenți actual, bazați pe petrol sau gaz metan.

Preocupări și realizări ale unor colective din ICECHIM—IECB, în domeniul „chimiei C_1"

În ICECHIM—IECB, domeniul „chimiei C_1" a fost abordat pe două direcții de eficiență maximă pentru realizarea unor materii prime strict necesare în economie :

— chimizarea metanolului produs industrializat, chiar cu plus de capacitate în procese susceptibile de perfecționare și modernizare ;

— chimizarea gazului de sinteză obținut din diferite surse : cărbuni inferiori, biomasă regenerabilă, cocs de petrol cu conținut de sulf mare.

Chimizarea metanolului s-a făcut prin conversia sa pe catalizatori specifici de tip zeolitic, ZSM—5, fabricat în industrie, la combustibili sintetici și materii prime, cap de serie în industria chimică de sinteză, și anume : olefine, hidrocarburi aromatice, benzine sintetice. Procedeul de conversie, experimentat deja la nivel pilot, poate fi deja aplicat în industrie încă la sfîrșitul acestui deceniu. Procesul este viabil, benzina obținută se poate folosi cu succes în motoarele cu ardere internă.

Chimizarea gazului de sinteză s-a făcut în etape succesive, astfel : gazul de sinteză brut, obținut prin gazeificarea cărbunilor inferiori a biomasei lemnoase, sau a cocsului de petrol, obținut din gazogene puse la punct de colective din țară, se purifică și se condiționează pentru aducerea la raport molar și se chimizează prin sinteză Fischer-Tropsch. Prin utilizarea unor catalizatori specifici și selectivi, de exemplu de tip Fe—K, suportat sau nesuportat, se obțin anumite materii prime, importante pentru industria chimică, cum sînt :

— olefine cu greutate moleculară mică C_2—C_4 ;

— olefine liniare superioare, C_6—C_{20} ;

— benzine octanice și fracții de hidrocarburi aromatice (BTX);

— petrol sintetic;

— metanol și alcooli superiori pînă la C_6.

Distribuția Schulz-Flory, în conformitate cu care se obține repartiția de produși în SFT, poate fi modificată în scopul obținerii unor fracții înguste de olefine cu greutate moleculară mică, etilenă și propilenă, substanțe chimice cap de serie în industria chimică de sinteză. Procedeul de hidrogenare a monoxidului de carbon la hidrocarburi C_2—C_4 a fost pus la punct prin utilizarea unor catalizatori pe bază de fier promotați cu mangan, molibden, zirconiu, ca atare sau depuși pe un silicat amorf, cu obținerea unor randamente economice ale conversiei gazului de sinteză. Rezolvarea unor probleme legate de separarea produșilor de

reacție va duce la un proces atractiv de obținere a etilenei și propilenei din alte materii prime decît petrolul și gazul metan.

Utilizarea unor catalizatori de tip Fe, promotați alcalin, cu rezistență mecanică bună, în conversia gazului de sinteză purificat, a dus la obținerea unor fracții de hidrocarburi lichide, C_6-C_{20}, cu o distribuție de tip Flory, care conțin peste 95 % hidrocarburi normale, lineare, din care 60—70 % alfa-olefine, materie primă pentru sintetizarea detergenților biodegradabili. Randamentele la o trecere a acestei fracții sînt 120—180 g hidrocarburi lichide/m^3 gaz de sinteză alimentat. Procedeul este competitiv cu actualele tehnologii, chiar în ipoteza existenței petrolului cu preț de cost scăzut, deoarece utilizează un sistem catalitic ieftin, cu recircularea gazelor.

Obținerea unor fracții de hidrocarburi lichide C_5-C_{11}, cu un conținut ridicat de hidrocarburi aromatice, în special, fracția : benzen, toluen, xileni, cu punct de fierbere în domeniul de fierbere al benzinelor, reprezintă o direcție de mare perspectivă în obținerea de combustibili sintetici pentru motoare cu ardere internă. Descoperirea „selectivității de formă Ø", proprietate fundamentală a zeoliților de tip ZSM—5, a făcut posibil să se pună la punct un sistem bifuncțional, format dintr-o componentă clasică Fischer-Tropsch-zeolit ZSM—5, sistem catalitic foarte eficient și stabil în conversia gazului de sinteză la benzine octanice. Procedeul se caracterizează prin randamente ridicate, 100—180 g hidrocarburi lichide /m^3* gaz de sinteză Procedeul a fost gîndit a fi aplicat în instalații modulare, de capacități în jur de 400 t benzină octanică/an, instalații convenabile unor inteprinderi din agricultură.

* m^3 în condiții normale de temperatură și presiune

Avantajoasă este și direcția de obținere a fracțiilor lichide cu compoziția petrolului, viabilă din două motive : sistemele catalitice utilizate sînt cunoscute, iar petrolul sintetic obținut poate fi prelucrat pe actuala infrastructură a industriei chimice.

Aceste tehnologii puse la punct la nivel de laborator, urmează a fi experimentate la nivel pilot, într-un complex de instalații experimentale.

Bibliografie

[1] Meadows, D. Z. *The Limites to Growth* „Raport for the Club of Rome Project" Universe Book, 9, New York (1972).

[2] Ehaler, Ł. J. În: Hydrocarbon Processing, nr. 5, 1972.

[3] Seldhom, R. A. *Chemicals from synthesis gas.* D. Reideal Publishing Company Boston-Lancester, 1983.

[4] Părăușanu, V., Corobea, N., Musca, G. *Economia hidrocarburilor.* Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1980.

[5] Kleim, W. *Chemistry for the Future.* Ed. Ly. H. Grunewald Pergamon Press Oxford and New York, 1984.

[6] Falbe, J., Frohning, C.D. În: J—Mol. Chem. nr. 17, p. 117, 1982.

[7] Roth, J.F. Craddok H.J. În: Chemteeh., nr. 10, p. 60, 1971.

[8] Economic Commission for Europa *Adhoc Meeting for the study on the Prospect for the Development of Carbochemystry în the ECE Region,* nov. 1980.

[9] Staege, H. „*Fluystom Kohleenvargasung-Stand der Kommerziellen Anwerdungen und Ent Wiklugen.* În: Chemische Industrie, vol 103, nr. 6.

[10] Kee, Mc, S. „*Contribution to the TVA-Amonia from coal*" Symposion mai, 1979.

(Primit la 6 iulie 1989, acceptat la 14 iulie 1989)

Introducerea modelelor matematice în vederea depistării cauzelor și reducerii diferenței valorilor puterii calorifice între probele recepție și consum cazan în termocentrală

Dr. ing. VALENTINA BĂLAN*

Descriptori: modele matematice, puteri calorifice, cazane energetice

Urmărirea calitativă a diferențelor la puterea calorifică a șisturilor s-a făcut prin aplicarea metodei de eșantionare sistematică [10], prin prelevări de probe simultane din punctele: recepție (centrală), ieșire combustibil (depozit) și alimentare cazane, pînă la asigurarea volumului de probă (n).

Criteriile pentru alegerea căilor optime de realizare a probei reprezentative au fost:

— gradul de asociere al mineralelor în șisturi;

— numărul de probe (n) care să asigure fidelitatea probelor; în care $F = \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}$;

— masa organică a șisturilor bituminoase.

Metoda are avantajul că este ușor de executat și acoperă în mod uniform populația de eșantionat.

Qualitative survey of calorific power values differences with bituminous shales has been performed by applying systematic sampling [10] by simultaneous sampling from the points: reception (power plant), fuel output (deposit) and boiler supply, until the sample volume (n) is provided,.

The choice criteria for the optimum representative sample were:

— joining degree of minerals in shales;

— samples number (n) which are to provide sample fidelity, where: $F = \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}$;

— organic mass of bituminous shales.

The advantages of the method are a simple execution and uniformly covering of the sampling mass.

Ținînd seama de structura petrografică și caracteristicile geochimice ale elementelor din sedimentele ce conțin substanțe organice în șisturi, pentru depistarea și reducerea diferenței valorilor puterii calorifice a șisturilor între probele de recepție și consum, au fost utilizate modele matematice din cadrul teoriei selecției (statistică-matematică), care permite ca pe baza unei selecții de n indivizi (x_1, x_2, x_3, ... x_n), numiți variabile de selecție, dintr-o populație de N indivizi să determine caracteristicile acestei populații. Scopul extragerii de probe după o schemă aleasă, dintr-o populație cu o distribuție teoretică, este de a obține estimate pentru media teoretică (m) și pentru abaterea medie pătratică teoretică (σ).

* Dr. ing. Valentina Bălan — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

În lucrare, pentru media teoretică (m) s-a utilizat estimata (media de selecție) probei $\bar{X}$:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}.$$

Media de selecție este singura medie de selecție folosită în extragerea de probe, care în urma unui proces repetat de extragere de probe este obiectul unei analize fizice sau chimice, care dă o caracteristică (putere calorifică, cenușă, umiditate) ce poate fi interpretată ca media propriei grupe de volum (n), considerată reprezentativă pentru populația din care a fost colectată.

Pentru abaterea medie pătratică teoretică (σ) s-a folosit estimata (abatere medie pătratică de selecție a probei).

Structura petrografică, chimică și energetică a șisturilor bituminoase

Șisturile bituminoase sînt constituite dintr-o masă de minerale argiloase fin impregnată cu substanțe bituminoase. În această masă sînt răspîndite, relativ uniform, granule fine de cuarț, paiete de sericit, particule cărbunoase și uneori impregnații de siderit cu dimensiuni în general sub 20 microni.

În mod neregulat, dar destul de frecvent, apar intercalații compacte de siderit de ordinul centimetrilor sau mai mult, constituite predominant (90—98%) din siderit în asociație intimă cu caolinit sericit, cuarț, calcit și substanțe bituminoase.

În tabelul 1 se redă succesiunea straturilor de șist bituminos pe lungimea frontului de lucru al deschiderii unei trepte.

Tabelul 1

Succesiunea structurilor de șist bituminos, a intercalațiilor de cărbune și siderită pe o lungime a frontului de lucru (randamizată)

Interval [m]	Intercalații [m]	Intercalații [%]	Minerale componente
0 — 2,00	2,0	6,25	șist marnos friabil cenușiu
2 — 3,20	1,2	3,75	argilă marnoasă
3,2— 3,50	0,3	0,94	cărbune-huilă
3,5— 5,70	2,20	6,87	gresie slab micacee cu intercalații șist
5,7— 5,90	0,20	0,62	bandă de siderită compactă
5,9—11,90	5,90	18,43	șist bituminos friabil fisurat-negru foarte mărunțit
11,8—13,80	2,00	8,25	șist bituminos sideritic compact negru lucios (bucăți)
13,8—18,20	4,40	13,75	șist bituminos avînd zone cărbunoase
18,2—19,00	0,80	2,51	bandă de siderită compactă slab aderentă
19,0—23,30	4,30	13,44	șist friabil cafeniu negricios cu zone alterate
23,3—24,00	0,70	2,18	bandă de siderită compactă
24,0—28,00	4,00	12,30	șist bituminos foios, negru lucios, foarte mărunțit
28,0—28,30	0,30	0,95	șist argilos
28,3—30,00	3,70	11,56	șist compact în bucăți mari

Structura petrografică a șisturilor bituminoase

Gradul de concreștere a principalelor asociații minerale în care fragmentele sideritice reprezintă, în medie, 10—12% din masa probei de șist se prezintă astfel:

— asociația caolinit—substanțe bituminoase este cea mai intimă, de ordin submicronic, gradul de asociere fiind în acest caz sub limita posibilităților tehnice de măcinare;

— asociația masă argiloasă bituminoasă — cuarț este foarte înaintată, datorită dimensiunilor extrem de fine ale granulelor de cuarț, fiind cuprinsă între 5 — 20 microni;

— asociația masă argiloasă bituminoasă — material cărbunos variază în limite mai largi decît în cazul cuarțului. Particulele de cărbune pot ajunge la 0,1—0,2 mm sau pot constitui intercalații de 1—2 mm grosime. Majoritatea particulelor de material cărbunos, peste 70%, are dimensiuni sub 30 microni;

— asociația masă argiloasă bituminoasă — sericit este de asemenea foarte înaintată și anume sub 20 microni, datorită finețiii paietelor de sericit ale căror grosimi se încadrează, în general, între 5 — 20 microni, deci lungimea lor ajunge la 0,1 mm, mai rar chiar la 0,5 mm;

— asociația sideritului prezintă două aspecte:
a. fragmente compacte de siderit, constituie asociații grobe cu masa șisturilor conținînd, în proporții variabile, impregnații micronice de caolit, bitume și cuarț,
b. fragmente de șisturi bituminoase sînt impregnate în proporții variabile cu microcristale și agregate de cristale de siderit cu dimensiuni variind de la cîțiva microni pînă la 0,1 mm.

Posibilitățile de obținere a unei probe reprezentative sînt strîns legate de proporția în care apar intercalațiile compacte de siderit în masa șistului.

Structura chimică a șisturilor bituminoase

Carbonul reprezintă în medie 10—13% din masa șisturilor bituminoase, cu variații de la cîteva procente în intercalațiile sideritice pînă la 18—20% în faciesul cărbunos.

Carbonul este legat în proporție de 70—75% de substanțe bituminoase, circa 18—20% de materialul cărbunos, circa 5—7% de fier (siderit) și 0,5—1% de calciu și magneziu.

Fierul variază în limite foarte largi în șisturi datorită în special răspîndirii neregulate a intercalațiilor de siderit în mediu de circa 10% Fe_2O_3.

Prin corelarea analizelor mineralogice cu analizele de fază s-a stabilit că fierul este legat în majoritatea cazurilor (70—80%) de siderit, în proporție de circa 0,5—1% de pirită, iar restul este legat de limonit și hematit.

Alumina în medie (30%) apare legată sub formă de silicați în masa minerală a șistului și anume de caolinit, circa 70%, sericit 15—27% și subordonat 1—3% feldspați.

Silicea reprezintă constituentul chimic principal, sub aspect cantitativ; în șisturile destinate arderii silicea este în proporție de 40—42%. Analizele de fază au pus în evidență repartiția mineralogică cantitativă a silicei astfel: 55—

62% caolit, 15—25% sericit, 1—3% feldspaţi şi circa 18—20% cuarţ. În ceea ce priveşte celelalte elemente, calciul şi magneziul sînt legate de dolomit şi calcit în proporţie de aproximativ 1%, potasiul legat de sericit şi sulful legat în mare majoritate cu pirita 0,5—1% şi cu totul subordonat, 0,2—0,4%, de masa organică ca sulf combustibil.

Caracteristici energetice

Puterea calorică (Q_i^t) reprezintă principalul parametru energetic, care este în strînsă dependenţă de conţinutul în substanţe organice al şisturilor. Variaţiile mari ale valorilor determinate pe probe se datoresc neregularităţii răspîndirii intercalaţiilor de siderit, variaţiilor accidentelor tectonice locale (intercalaţii argiloase sterile) sau schimbării raportului între componenţii minerali.

Cenuşa (A^t) reprezintă masa organică calcinată (75% anh) şi are un pronunţat caracter acid, datorită proporţiei subordonate a fierului, calciului şi magneziului, sodiului şi potasiului în raport cu silicea şi aluminiu.

Ţinînd seama de caracteristicile geochimice mineralogice şi chimice ale şisturilor destinate arderii în termocentrală, s-a stabilit că testarea calităţii să se facă pe bază de probe, utilizînd modelele matematice din cadrul teoriei selecţiei [1, 9].

S-au studiat funcţiile de distribuţie a mediilor de eşantionare pentru caracteristicile energetice ale şisturilor în scopul obţinerii unor valori cît mai reale în vederea depistării cauzelor şi reducerii diferenţelor la puterea calorifică între probele de recepţie şi consum cazan.

Extragerea de probe

Se redau mai jos noţiunile care pot furniza o informaţie asupra distribuţiei unei variabile (media şi dispersia).

Probabilitatea de apariţie a unui individ (element aleatoriu) într-o experimentare este definită de funcţia de repartiţie a variabilei aleatorii. Notînd variabila aleatorie cu X şi folosind noţiunea de probabilitate integrală [3] $P(X)$, funcţia de repartiţie va fi :

$$F(X) = P(X < x), \tag{1}$$

existînd probabilitatea ca variabila aleatorie să ia valori mai mici ca x.

Cunoscînd funcţia de repartiţie a unei variabile aleatorii avem toată informaţia necesară cunoaşterii repartiţiei indivizilor care formează populaţia.

De cele mai multe ori nu se cunoaşte expresia analitică a funcţiei de repartiţie a unei variabile aleatorii, de aceea în practică se lucrează cu anumite valori caracteristice, care se definesc în felul următor :

a) momentul de ordin r al unei variabile aleatorii X :

$$M_r(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^r \, dF_{(x)} = \int_{-\infty}^{+\infty} x^r f_{(x)} \, dx. \tag{2}$$

Un rol important îl joacă momentul de ordin 1 :

$$M_1(X) = m = M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(X) \, dx \tag{3}$$

care se numeşte speranţă matematică sau valoare medie.

Valoarea $(X - m)$ se numeşte abaterea variabilei aleatorii.

b) Momentul centrat de ordin r este un moment în raport cu speranţa matematică (media) :

$$m_r(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m)^r \, dF_{(x)} = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m)^r f_{(x)} \, dx. \tag{4}$$

Se observă că :

$$m_1(X) = 0 \tag{5}$$

$$m_2(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m)^2 \, f(x) dx = \sigma^2 = D^2(X) \tag{6}$$

$$\sigma = \sqrt{D^2 X} \tag{7}$$

se numeşte abaterea medie pătratică.

Se poate demonstra că momentul de ordin 2 în raport cu a are un minim pentru $a = m$, deci dispersia se poate folosi pentru cercetarea valorii medii.

Dispersia (varianta) este o măsură a abaterii valorilor variabilei aleatorii faţă de speranţa matematică (valoarea medie).

Media de ordin q în raport cu a este :

$$D^2_{(x)} = \sqrt[s]{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - a)^2 \, dF_{(x)}} =$$

$$= \sqrt[s]{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - a)^2 \, f_{(x)} \, dx}. \tag{8}$$

Abaterea medie pătratică este o medie de ordinul 2 în raport cu speranța matematică (media).

Funcții de repartiții

O funcție de repartiție de o importanță fundamentală în statistica matematică este repartiția normală unidimensională (Gaus-Laplace). Funcția ei de repartiție este dată de :

$$F_{(u)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \int_{-\infty}^{\mu} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \text{ (funcția lui Laplace).} \tag{9}$$

Densitatea ei de posibilitate este dată de funcția :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{\frac{(1-m)^2}{2\sigma^2}} \tag{10}$$

Speranța matematică :

$$M_1(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot e^{-\frac{(x-m)}{2\sigma^2}} \cdot dx = m \tag{11}$$

$$D^2(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m^2)\, e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma}}\, dx = \sigma^2. \tag{12}$$

După cum se remarcă repartiția normală unidimensională este determinată prin cunoașterea lui m, a lui σ^2 (speranța matematică) și a dispersiei. De aici înainte o vom nota $N(m, \sigma)$.

Aplicarea teoriei selecției la extragerea probelor

Pe baza cîtorva teoreme fundamentale din teoria selecției [10] se pot enunța următoarele :

Dacă primele două momente ale repartiției teoretice există (indiferent de forma ei), atunci pentru distribuția mediilor de selecție de volum n :

$$M(\bar{X}) = M(X) = m, \tag{13}$$

în care X este variabila aleatorie teoretică și

$$D^2(\bar{X}) = \frac{D^2(X)}{n} = \frac{\sigma^2}{n}$$

de unde :

$$\lim_{\mu \to \infty} D^2(X)/n = 0,$$

deci media de selecție este o estimată absolută corectă pentru media teoretică.

Dacă momentele centrate de ordin 2 (σ^2) și ordin 3 (ρ^3) pentru repartiția teoretică și dacă momentele

$$m^3 = M\frac{X_j}{n} \tag{14}$$

$$\sigma_j^2 = M\left[\left(\frac{X_j}{n} \cdot mj\right)^2\right] \text{ și}$$

$$\rho_q^3 = M\left[\left(\frac{X_j}{n} \cdot mj\right)^3\right], \quad j = 1 \ldots n$$

atunci repartiția medie de selecție tinde către repartiția normală.

Funcția de distribuție a mediilor de eșantionare ($\bar{X}$) de volum n (distribuția de eșantionare) joacă un rol fundamental în teoria selecției. Abaterea medie pătratică a distribuției de eșantionare se numește eroare-standard. Indiferent de distribuția populației teoretice, distribuția de eșantionare tinde la o distribuție normală, a cărei medie este egală cu media distribuției populației teoretice și a cărei abatere medie pătratică (eroare standard) este abaterea medie pătratică a populației teoretice împărțită cu $\sqrt{n}$(n = volumul probei).

În afara modului în care este extrasă proba, prin care se stabilește posibilitatea ca un individ să fie colectat în probă, regulile pentru extragerea probei trebuie să cuprindă indicații asupra volumului acestuia (n). Această problemă este legată de reprezentativitatea prin care proba este o imagine a populației și în termeni matematici se definește prin precizie.

Abaterea medie a probei de la media teoretică (eroarea) se datorește erorii sistematice și erorii accidentale.

În prezenta lucrare se consideră eroarea sistematică zero. Referitor la volumul probei (n), care este legat de precizia pe care se dorește să o aibă metoda respectivă de extragere a probei, dacă se notează cu F, eroarea admisă la media probei (față de media teoretică) și $\sigma_{\bar{x}}$ eroarea standard (pentru probe suficient de mari) distribuția de eșantionare se poate considera normală $N(m, \sigma_x)$.

Intervalul de încredere pentru $\bar{X}$ media de selecție este :

$$X \pm F = \bar{X} \pm K_{\sigma\bar{x}} = \bar{X} \pm K\frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \tag{15}$$

Distribuțiile normale pentru diverse praguri de încredere :

α	0,5%	2,5%	5%
P	99	95	90
K	2,58	1,96	1,64

În lucrare se ia probabilitatea ca media de selecție să cadă în intervalul de încredere $P = 95\%$, ceea ce corespunde limitelor de încredere de $\pm 1{,}96 \pm 2$ (două erori standard). Relația (15) devine în ipoteza $P = 95\%$:

$$X \pm F = \bar{X} \pm \sigma_{\bar{x}} = \bar{X} \pm 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \qquad (16)$$

de unde se deduce volumul probei care să asigure probei sistematice fidelitatea F.

Rezultate și discuții

Caracteristicile energetice ale șisturilor bituminoase și diferența de putere calorifică inferioară (Q_i^t) între probele de recepție și consum cazan utilizate în procesul tehnologic din termocentrale sînt redate în tabelul 2.

Precizia metodei de eșantionare a probelor, determinată pe trei teste, după normele ISO, este redată în tabelul 3.

Caracteristicile energetice ale șisturilor obținute prin aplicarea metodei de eșantionare sistematică (statistică matematică) *Tabelul 2*

Caracteristici energetice loturi / buncări cazane	Numărul probelor	Media ($\bar{X}$)	Abaterea medie pătratică	Intervalul de încredere statistic	Precizia (P) ($F = P$)	ΔQ_i^t [kcal/kg]
Putere calorifică, Q_i^t [kcal/kg]	49	859	148	711—1007		
Cenușă, A_t^{anh} [%]		78,08	2,0	76,08—80,02	0,57	
Umiditate, W_t^t [%]		6,05	1,05	4,43— 7,66	0,46	
Putere calorifică, Q_i^t [kcal/kg]	60	890	83	807—973		
Cenușă, A^{anh} [%]		75,36	1,04	76,4—74,3	0,26	
Umiditate, W_t^t [%]		3,98	0,69	4,67—3,29	0,18	
Diferența de putere calorifică între probele loturi și buncări cazane (aplicînd prelevarea conf. STAS 1372/76) ΔQ_i^t[kcal/kg]						—31

Precizia metodei de extragere a probelor după normele ISO *Tabelul 3*

Numărul probei	Testul I — Putere calorifică (X)	Testul I — Putere calorifică (X^2)	Testul II — Putere calorifică (X)	Testul II — Putere calorifică (X^2)	Testul III — Putere calorifică (X)	Testul III — Putere calorifică (X^2)
1	8,58	73,61	8,97	80,46	9,50	90,25
2	10,00	100,00	7,68	58,98	8,35	69,72
3	9,86	97,21	10,77	115,99	9,45	89,30
4	8,57	73,44	11,49	132,02	9,88	97,61
5	7,96	63,36	7,92	62,72	7,83	61,30
6	8,20	67,24	6,10	37,21	9,12	83,17
7	8,36	69,88	6,06	36,72	8,20	67,24
8	8,20	67,24	5,87	34,45	8,78	77,08
9	7,97	63,52	10,38	107,74	10,07	101,40
10	7,90	62,41	7,60	57,76	9,61	92,35
11	8,26	68,22	6,57	43,16	10,80	116,64
12	7,22	52,12	7,35	54,02	12,90	166,41
13	9,16	83,90	7,46	71,57	9,24	85,37
14	8,82	77,79	7,67	58,82	8,92	79,56
15	9,96	99,20	10,80	116,64	8,83	77,96
16	8,76	76,73	9,81	96,23	8,22	67,56
17	9,98	73,78	10,10	102,01	8,93	79,74
18	8,59	73,78	10,10	102,01	7,20	51,84
19	8,79	77,26	8,84	78,14	9,63	92,73
20	8,85	78,32	10,45	109,20	8,80	77,44
	173,83	1521,46	171,95	1535,92	184,26	1724,67
	$S_1^2 = \frac{1521{,}46 - 1510{,}6}{19} = 0{,}57$		$S_2^2 = \frac{1535{,}92 - 1478{,}34}{19} = 3{,}03$		$S_3^2 = \frac{1724{,}67 - 1697{,}5}{19} = 1{,}43$	
	$S_1 = 0{,}76$		$S_2 = 1{,}74$		$S_3 = 1{,}19$	
	$F = \frac{2 \times 0{,}76}{4{,}46} = 0{,}34$		$F = \frac{2 \times 1{,}74}{4{,}46} = 0{,}78$		$F = \frac{2 \times 1{,}19}{4{,}46} = 0{,}50$	

S-a notat:
S — abaterea medie pătratică de selecție
F — fidelitate

$$s^2 = \frac{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}{n-1}$$ = variația valorii seriilor

$(\Sigma x)^2$ — pătratul sumelor valorii puterii calorifice rezultate;

Σx^2 — suma pătratelor valorii puterii calorifice rezultate;

n — rezultă din numărul (Q_i^i) individuali ai seriei;

F — fidelitate; $F = \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}$

X — puterea calorifică $= \frac{Q_i^i \text{ kcal/kg}}{100}$

Dispersia probelor elementare o considerăm egală cu dispersia populației teoretice:

$$p = \frac{\sum_{j}^{1,m_0} (Mo_j - i)p_j^2}{\sum_{j}^{1,m_0} (Mo_j - m_0)}.$$

Dispersia probelor pe trei teste este:

Pentru șisturile bituminoase la intrare în termocentrală:

$$p^2 = \frac{19(0{,}57 + 3{,}03 + 1{,}43)}{57} = 1{,}67.$$

Varianța cu care se calculează precizia realizată la un test:

$$v = \frac{p^2 + f^2}{n} = \frac{p^2 + \frac{V}{5}}{n},$$

în care:

f^2 este dispersia de formare a probelor medii după normele ISO;

$$f^2 = \frac{v}{5}; \quad n.v. = p^2 + \frac{v}{5}; \quad n.v - \frac{v}{5} = p^2;$$

$$v\left(n - \frac{1}{5}\right) = p^2; \quad v = \frac{5p^2}{5(n-1)}; \quad F = 2\sqrt{v}.$$

Pentru șisturile bituminoase destinate arderii în cazane:

$$v = \frac{5p^2}{5(n-1)}; \quad v = \frac{1{,}67}{19} = 0{,}087;$$

$$F = 2\sqrt{v}; \quad F = 2\sqrt{0{,}087} = 0{,}59.$$

Așa cum arată teoria eșantionării, prin mărirea volumului probei se poate atinge orice fidelitate se dorește, sub rezerva unei limite inferioare sub care nu se mai poate coborî.

Concluzii

Șisturile bituminoase sînt constituite dintr-o masă de minerale argiloase fin impregnate cu substanțe bituminoase. În mod neregulat, dar destul de frecvent, apar intercalații compacte de siderit de ordinul centimetrilor sau mai mult, constituite predominant 50—98% din siderit în asociație intimă cu caolinit sericit, cuarț, calcit și substanțe bituminoase.

Posibilitățile de realizare a unei probe reprezentative sînt strîns legate de proporția în care apar intercalațiile compacte de siderit în masa șistului.

Puterea calorifică inferioară (Q_i^i) reprezintă principalul parametru energetic care este în strînsă dependență de conținutul în substanțe organice al șisturilor.

Variațiile mari ale valorilor (Q_i^i) determinate pe probe se datoresc următorilor factori mai importanți:

— neregularitatea răspîndirii intercalațiilor de siderit a căror prezență conduce la scăderea conținutului în substanțe organice;

— variațiile de facies datorate fie accidentelor tectonice locale (intercalații argiloase sterile), fie schimbării raportului între componenții minerali.

Prin utilizarea metodei de eșantionare sistematică (teoria selecției) s-a obținut o reducere a diferenței la puterea calorifică (ΔQ_i^i) între probe de recepție și consum cazan, de la $\Delta Q_i^i = 130$ kcal/kg la $\Delta Q_i^i = 31$ kcal/kg.

Aceasta este legată de reprezentativitatea prin care proba este o imagine a întregii populații (loturi) și în termeni matematici se definește prin precizie.

Fidelitatea după normele ISO, realizată la puterea calorifică pe trei teste se prezintă astfel: testul I: $F = 0{,}34$; testul II: $F = 0{,}78$; testul III: $F = 0{,}50$.

Așa cum arată teoria eșantionării, se poate atinge prin mărirea volumului probei orice fidelitate se dorește, sub rezerva unei limite inferioare sub care nu se mai poate coborî.

Bibliografie

[1] STAS 2631/1958. *Statistica matematică în tehnici.*

[2] NF—10 5—001. *Vocabulaire de la statistique.*

[3] NF X05—002. *Vocabulaire de calcul des probabilites.*

[4] B.S. 50031. *Coal sampling equipment thermal efficient assessment,* 1 septembrie 1968.

[5] NF—X05—020. *Statistique et calcul des probabilités termes employés dans l'estimation et la centrale de la qualité.*

[6] Bălan, V. *Cercetări asupra compoziției și structurii șisturilor bituminoase în vederea valorificării energetice.* În: Energetica, 23, 1975, nr. 2, p. 68.

[7] * * * *Analiza chimică și mineralogică complexă a șisturilor.* ICEMENERG—ICPILA/1975.

[8] * * * *Cercetări privind compoziția chimică petrografică a șisturilor destinate arderii în termocentrale.* ICEMENERG — 1978.

[9] * * * *Cercetări privind calitatea șisturilor bituminoase pentru alimentarea primului bloc energetic de la CTE Anina.* ICEMENERG/1987—1988.

[10] Văduva I. *Analiza dispersională.* Ed. Tehnică, București, 1970.

(Primit la 16 iunie 1989, acceptat la 19 septembrie 1989)

Programe de calcul pentru dimensionarea și verificarea instalației de tratare a apei de adaos pentru cazane de abur din centrale termice și termoelectrice

Dr. ing. MIHAIL CECLAN, ing. RODICA ELENA CECLAN
ing. MIRCEA DAMIAN, mat. ION STIGER*

Descriptori : CT, CTE, model de calcul, tratare apă

A fost elaborat un model matematic care, ținînd seama de structura balanței apă-abur-condensat și de relațiile între indicii chimici ai apei de adaos și ai apei din generatorul de abur, permite determinarea procedeului tehnologic de tratare a apei de adaos pentru circuitul termic, pentru un set de condiții inițiale : tipul centralei (CT, CTE, CET) ; categoria generatorului de abur ; compoziția apei brute și structura balanței apă-abur-condensat.

Modelul matematic determinat a stat la baza creării programului DETPRO cu ajutorul căruia au fost construite două nomograme : pentru alcalinitate și salinitate. Aceste nomograme permit rezolvarea grafică a problemei determinării procedeului tehnologic de tratare a apei de adaos pentru circuitul termic.

Programul DETPRO constituie o primă etapă în implementarea pe calculator a activității de dimensionare a instalațiilor de tratare a apei cu schimbători de ioni.

A mathematical model has been elaborated based on the water-condensate-steam balance structure and on the relations between the chemical indeces of the steam generator additional water and of feed water, enabling to determine the thermal circuit additional water technology, for a set of initial conditions : plant type (district heating plant, combined heat and power plant, thermal power plant), steam generator type, raw water composition and water-condensate steam structure.

This mathematical model has served as a basis for the DETPRO program which helped to set up two nomograms : for alkalinity and salinity. These nomograms help to graphically solve the thermal circuit additional water treatment technology determination.

DETPRO is a first stage program in the computer implementation of ions exchanger water treatment facilities dimensioning activity.

1. Aplicații ale metodelor numerice la dimensionarea instalațiilor de tratare a apei

Dintre instalațiile anexă ale unei centrale termice sau termoelectrice, o importanță deosebită pentru funcționarea sigură și de lungă durată o are instalația de tratare a apei de adaos pentru cazanul de abur.

Activitatea de dimensionare a instalațiilor de tratare a apei de adaos pentru circuitul termic cuprinde următoarele etape :

a) determinarea procedeului de tratare a apei de adaos ;

b) dimensionarea tehnologică a instalației de tratare a apei de adaos ;

c) întocmirea documentației de execuție.

În măsura în care corelațiile dintre calitatea apei din generator — stabilită prin prescripțiile ISCIR C 18—85 — calitatea apei brute disponibile pe amplasament, regimul de funcționare al CT sau CTE și proprietățile fizico-chimice ale substanțelor schimbătoare de ioni pot fi descrise prin relații analitice, este posibil să se elaboreze un model matematic coerent, care să permită — după implementarea pe calculator — rezolvarea tuturor etapelor activității de proiectare a instalațiilor de tratare a apei de adaos, cu ajutorul calculatorului electronic.

Tehnologia utilizată în prezent în domeniul tratării apei de adaos pentru cazanele de abur se bazează pe schimbul ionic. În funcție de gradul de purificare necesar pentru apa de adaos, se adoptă unul din următoarele procedee de tratare cu schimbători de ioni : dedurizare, demineralizare parțială sau demineralizare totală.

Pachetul de programe pentru proiectarea unei instalații de tratare a apei de adaos (fig. 1) pentru cazane de abur care echipează centrale termice sau termoelectrice cuprinde următoarele programe : DETPRO, DIMDED, DIMDP, DIMDT.

— DETPRO — DETerminarea PROcedeului tehnologic de tratare a apei de adaos în funcție de tipul generatorului de

* Dr. ing. Mihail Ceclan — Institutul Politehnic București, ing. Rodica Elena Ceclan — Institutul de Cercetări Chimico-farmaceutice, București, ing. Mircea Damian, mat. Ion Stiger — Institutul de Studii și Proiectări Energetice

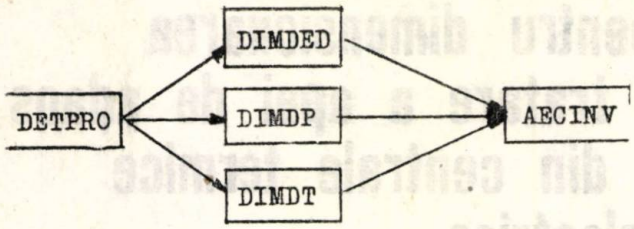


Fig. 1. Pachet de programe pentru dimensionarea instalației de tratare a apei de adaos

abur, de calitatea apei brute disponibile pe amplasament și de strucura balanței apă-abur-condensat;

— DIMDED — DIMensionare DEDurizare; determină cantitățile de schimbători de ioni, caracteristicile geometrice ale filtrelor ionice și cantitățile de reactivi pentru regenerare;

— DIMDP — DIMensionare Demineralizare Parțială; idem cînd procedeul de tratare este demineralizare totală;

— DIMDT — DIMensionare Demineralizare Totală; idem cînd procedeul de tratare este demineralizarea totală.

2. Programul DETPRO

A fost elaborat un model matematic [1] care, ținînd seama de structura balanței apă-abur-condensat și de relațiile între indicii chimici ai apei de adaos și cei ai apei din generatorul de abur, permite determinarea procedeului tehnologic de tratare a apei de adaos pentru circuitul termic, pentru un set de condiții inițiale: tipul centralei (CT, CTE, CET), categoria generatorului de abur, compoziția apei brute și structura balanței apă-abur-condensat.

Modelul matematic, conceput inițial pentru generatoare de abur de categoria a IV-a, a fost generalizat, fiind valabil pînă la categoria a VIII-a. Pentru generatoarele de abur din categoriile IX — XIII, apa de adaos se prepară prin demineralizarea totală.

Programul DETPRO, a cărui schemă logică este prezentată în figura 2, este scris în limbaj FORTRAN IV și poate fi utilizat cu ușurință dacă se ține seama de următoarele precizări. Datele inițiale sau de intrare sînt variabile de tip real neindexate și indexate [2], numele adoptate pentru variabilele neindexate sînt precizate în tabelul 1, iar valorile corespund unui generator de abur de categoria a V-a.

Indicii chimici ai apei din generator au fost asimilați cu o listă de variabile care poate fi scrisă astfel:

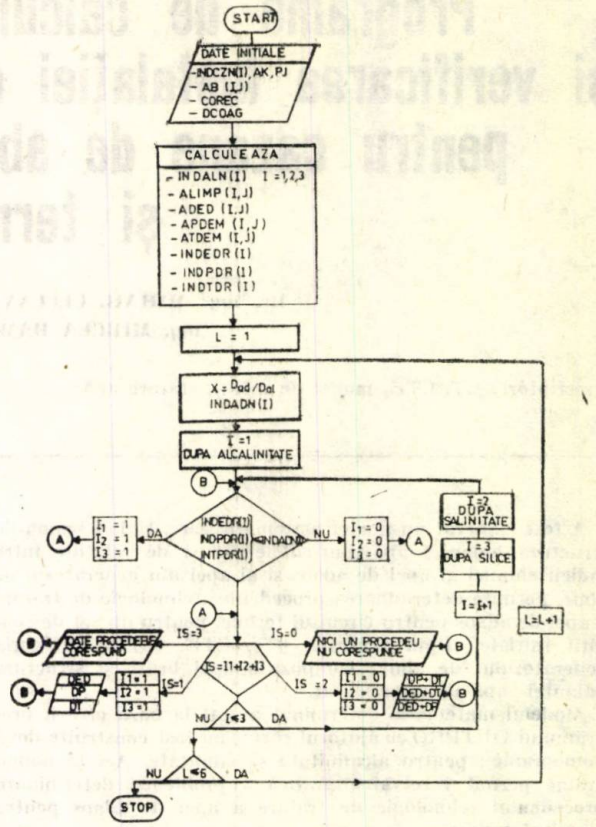


Fig. 2. Schema logică a programului DETPRO.

Tabelul 1

Date de intrare care sînt variabile neindexate

Mărimea	Nume în FORTRAN	U.M.	Valoarea
Cuantumul purjei, Pj	PJ	%	5
Doza de coagulant	DCOAG	$\frac{\text{mval}}{1}$	0,4
Coeficient de transformare a alcalinității „m" în „p"	AK	—	0,9

$$(INDCZN(I),\ I = 1,3)$$

Indicii chimici ai apei din generator constituie o variabilă indexată, iar explicitarea notației de mai sus se face în tabelul 2.

Balanța ionică a apei brute este o listă de variabile cu două dimensiuni și deci va fi descrisă ca mai jos:

$$(AB(I,\ J),\ J = 1,\ 2),\ I = 1,\ 10)$$

Compoziția apei brute, scrisă explicit pentru a evidenția semnificația chimică a valorilor care intervin, este arătată în tabelul 3.

Tabelul 2

Numele indicilor chimici normați ai apei din generator în FORTRAN

Indice chimic	Nume în FORTRAN	Index	U.M.	Valoare
Alcalinitate, Pg	INDCZN(1)	1	$\frac{mval}{1}$	7,5
Salinitate, Sg	INDCZN(2)	2	ppm	1 800
Silice, SiO_2g	INDCZN(3)	3	ppm	50

Tabelul 3

Compoziția apei brute AB (I, J)

Indice	J	1	2
I	Ionul	mval/l	ppm
1	HCO_3^-	1.1	2.1
2	Cl^-	1.2	2.2
3	SO_4^{2-}	1.3	2.3
4	ΣA	1.4	2.4
5	ΣK	1.5	2.5
6	Na^+	1.6	2.6
7	Ca^{2+}	1.7	2.7
8	Mg^{2+}	1.8	2.8
9	S	1.9	2.9
10	SiO_2	1.10	2.10

Pe baza datelor inițiale definite ca mai sus, programul determină indicii chimici normați ai apei de alimentare (INDALN (I)), balanțele ionice ale apei limpezite (ALIMP(I, J)), dedurizate (ADED(I, J)), parțial demineralizate (APDEM(I, J), total demineralizate (ATDEM(I, J)) și indicii chimici caracteristici ai apei de adaos obținute prin procedeele de tratare cu schimbători de ioni. Pentru indicii chimici ai apei de adaos s-au folosit următoarele notații :

INDEDR(I) — pentru dedurizare ;

INDPDR(I) — pentru demineralizare parțială ;

INDTDR(I) — pentru demineralizare totală.

Calculul este ciclic în raport cu cuantumul de condensat recuperat (notat COREC) și cu indicele chimic în raport cu care se face analiza regimului chimic al generatorului de abur.

Ciclul mare, în raport cu cuantumul de condensat recuperat, este controlat de variabila L. Secvența de program ce corelează variabila L cu coeficientul de recuperare a condensatului COREC este următoarea :

```
DO 15 L = 1,8
A = 0,1*L
COREC = 0.2 + A
X = 1 - COREC * 100/(100 + PJ)
INDADN(I) = INDALN (I)/X
```

Corpul ciclului

```
15  CONTINUE
```

Determinarea procedeului tehnologic de tratare a apei de adaos se face în cel de-al doilea ciclu, interior primului, controlat de variabila I.

3. Nomograme pentru determinarea procedeului tehnologic de tratare a apei de adaos

Alegerea procedeului tehnologic de tratare a apei de adaos pentru generatoarele de abur se face pe baza comparației între indicii chimici normați ai apei de adaos (I^n_{ad}) și indicii chimici reali ai acesteia (I^r_{ad}), obținută prin procedeele de tratare cu schimbători de ioni analizate [3]. Procedeul de tratare corespunzător este acela pentru care se asigură :

$$I^n_{ad} \geq I^r_{ad}.$$

Comparația între indicii chimici reali ai apei de adaos preparată prin dedurizare, demineralizare parțială sau demineralizare totală și indicii normați ai apei de adaos se poate realiza și grafic, cu ajutorul nomogramelor din figurilor 3 și 4. Cu ajutorul programului DETPRO au fost construite două nomograme : pentru alcalinitate și salinitate.

Nomograma pentru silice nu este necesară, cunoscut fiind faptul că silicea remanentă după dedurizare și demineralizare parțială reprezintă 80% din conținutul de silice din apa brută.

În cazul nomogramei pentru salinitate, în cadranul I se află familia de curbe $S^n_{ad} = f(X$; categoria GA), iar în cadranul III sînt curbele de tipul $S^r_{ad} = f\left[\left(\frac{m}{s}\right)_{AB}\right.$, procedeul de tratare$\left.\right]$.

În vederea acoperirii tuturor situațiilor privind salinitatea apei brute, care pot apărea la amplasamentele din România, au fost luate în considerare șapte tipuri reprezentative de apă brută, avînd salinitatea (SB_i) cuprinsă în domeniul (200 — 680)ppm.

Pentru fiecare tip de apă brută s-au considerat compoziții variate, caracterizate prin raportul m/s în domeniul (0,2 — 0,7).

Nomograma pentru alcalinitate este construită în mod similar.

Utilizarea nomogramelor se face în conformitate cu exemplele menționate în figurile

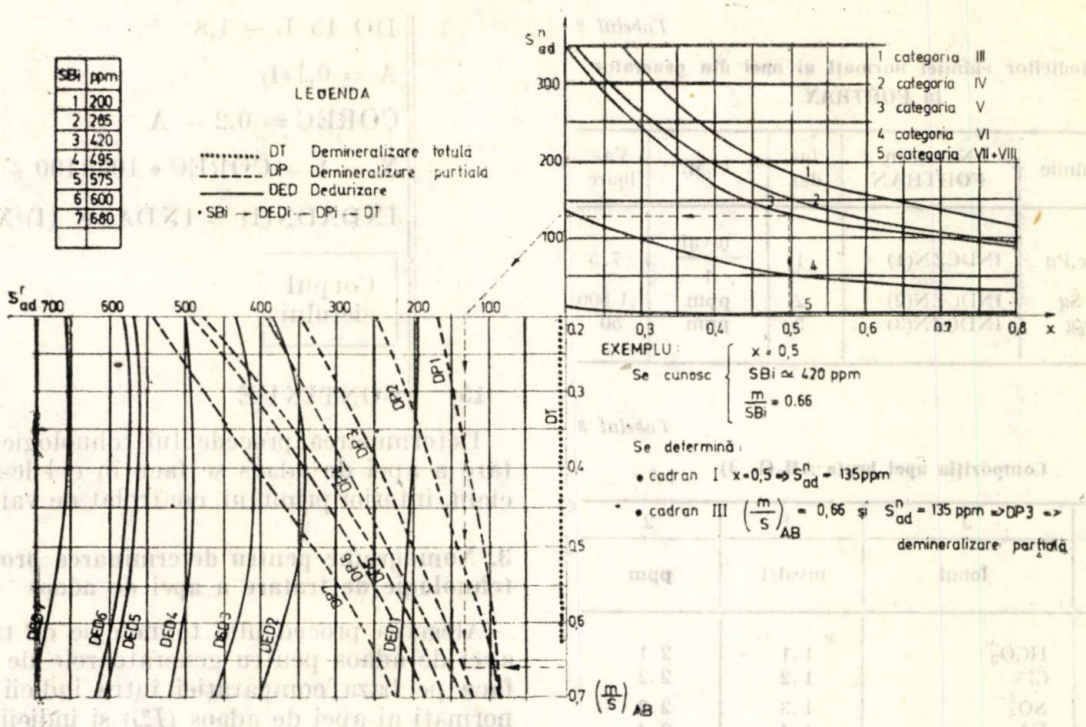


Fig. 3. Alegerea procedeului tehnologic după salinitate

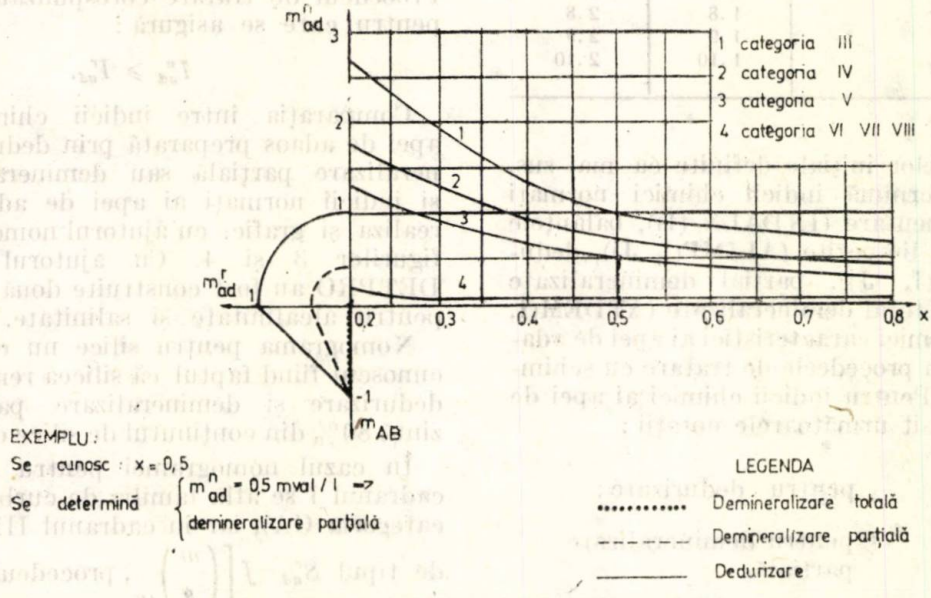


Fig. 4. Alegerea procedeului tehnologic după alcalinitate

3 și 4. Corelînd rezultatele obținute din fiecare nomogramă, se va adopta acel procedeu de tratare a apei care asigură realizarea simultană a valorii normate a indicilor apei de adaos, atît după salinitate, cît și după alcalinitate.

Rezultate și concluzii

Programul DETPRO constituie o primă etapă în implementarea pe calculator a activității de dimensionare a instalațiilor de tratare a apei cu schimbători de ioni.

Nomogramele construite cu ajutorul programului DETPRO permit rezolvarea grafică a problemei determinării procedeului tehnologic de tratare a apei de adaos pentru circuitul termic.

Bibliografie

[1] Negulescu, L., Ceclan, M., Ceclan R.E., *Model de calcul pentru stabilirea tehnologiei de tratare a apei în centralele termice industriale*. In: Energetica, nr. 4, 1985, p. 153–156.

[2] Niculescu, I. *Inițiere în FORTRAN*. Editura Tehnică, București, 1972.

[3] Karas, F. *Tratarea apei și a aburului în instalațiile termoenergetice*. Editura Tehnică, București, 1967.

(Primit la 25 august 1989, acceptat la 29 septembrie 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

STATISTICĂ ENERGETICĂ

Consumul de energie pe locuitor, inclusiv consumul populației în diferite țări

— anul 1987 —

Țara	Consumul intern de energie pe locuitor [kgc.c./loc.]	[MJ/loc]	Consumul de energie al populației pe locuitor [kgc.c/loc.]	[MJ/loc]	Ponderea consumului populației în consumul intern de energie [%]
România (1980)	3900	114270	442	12950	11,3
România (1987)	4522	132494	419	12277	9,3
România (1988)	4517[1)]	132348	402[1)]	11778	8,9
R. Cehoslovacă	7103	208118	...	...	...
R.D.G.	8408	246354	...	...	...
Polonia	4947	114947	...	...	...
R. Ungară	4146	121478	903	26458	21,8
R.U.	6781	198683	1032	30237	15,2
Austria	5435	159245	...	...	...
Belgia	6520	191036	1486	43540	22,8
Danemarca	5295	155143	1565	45854	29,5
Elveția	5923	173544	1247	36537	21,1
Franța	5298	155231	979	28685	18,5
R.F.G.	6531	191358	...	...	...
Grecia	2654	77762	276	8087	10,4
Italia	3620	106066	764	22385	21,1
Irlanda	4001	117229	...	...	...
Norvegia	9365	274394	...	...	...
Portugalia	1789	52418	131	3838	7,3
Spania	2903	85058	212	6211	7,3
Suedia	9829	287989	...	...	...
Turcia	1257[2)]	36830	405[2)]	11866	32,8
Canada	15369	450312	1700	49810	11,1
S.U.A.	9489[2,3]	278028	...	...	...

Notă:

... lipsă date;

[1)] calculat pe bază de valori estimate privind populația;

[2)] datele reprezintă valori pentru anul 1986;

[3)] pentru S.U.A. sursa de informare a fost: Energy Statistics Yearbook — 1986, United Nations — 1988.

Pentru restul datelor sursa de informare a fost: Annual Bulletin of General Energy Statistics for Europe 1987, United Nations 1989 și Anuarul Statistic al RSR, DCS — 1988.

Consumul de energie al populației pentru România și Cehoslovacia cuprinde și consumul de carburanți pentru automobilele proprietate personală.

Consumul de intern energie este definit ca sumă a producției de resurse energetice primare, a variației de stocuri și a soldului import-export pentru toate tipurile de resurse și purtători de energie. Consumul de energie reprezintă consumul sub formele de combustibili și carburanți, energie electrică și energie termică.

Consumul de energie electrică pe locuitor, inclusiv consumul populației în diferite țări

— anul 1987 —

Țara	Consumul intern de energie electrică pe locuitor [kWh/loc]	[MJ/loc]	Consumul de energie electrică al populației pe locuitor [kWh/loc]	[MJ/loc]	Ponderea consumului populației în consumul intern de energie electrică [%]
România (1980)	3059	11012	220	792	7,2
România (1987)	3454	12434	209	752	6,1
România (1988)	3582[1)]	12895[1)]	194[1)]	698[1)]	5,4
R. Cehoslovacă	5732	20635	767	2761	13,4
R.D.G.	7089	25520	1054	3794	14,8
Polonia	3918	14105	490	1764	12,5
R. Ungară	3804	13694	767	2761	20,2
R.U.	5521	19875	1639	5900	29,7
Austria	5932	21355	1422	5119	23,9
Belgia	6174	22226	1772	6379	28,7
Danemarca	6201	22323	1791	6447	28,9
Elveția	7725	27810	1914	6890	24,7
Franța	6266	22557	1702	6127	27,2
R.F.G.	7118	25625	1698	6112	23,8
Grecia	3092	11131	855	3078	27,6
Italia	3915[2)]	14094[2)]	839[2)]	3020[2)]	21,4
Irlanda	3690	13284	1194*	430[2)]*	32,4*
Norvegia	25372	91339	7385	26586	29,1
Portugalia	2238[2)]	8057[2)]	474[2)]	1706[2)]	21,2
Spania	3390	12204	658	2369	19,4
Suedia	17041	61347	...	...	...
Turcia	902	3247	114	410	12,6
Canada	17723	63803	4351	15663	24,5
S.U.A.	11378	40961	3486*	12550*	30,6*

Notă:

... lipsă date

* inclusiv datele referitoare la agricultură și silvicultură

[1)] calculat pe bază de valori estimate privind populația

[2)] pentru Italia și Portugalia sursa de informare a fost Annual Bulletin of General Energy Statistics — 1987, United Nations — 1989.

Pentru restul țărilor datele au fost calculate pe baza informațiilor din Annual Bulletin of Electric Energy Statistics for Europe — 1987, United Nations — 1988 și Anuarul Statistic al R.S.R. DCS — 1988.

În țara noastră, consumul de energie al populației a scăzut în anul 1988 față de anul 1987 cu 4%, iar ponderea consumului populației în consumul intern de energie a scăzut de la 9,3 în 1987 la 8,9 în 1988. Examinînd situația pe o perioadă mai îndelungată, se poate observa că, față de anul 1980, consumul de energie al populației în anul 1988 a scăzut cu 9%, iar ponderea consumului populației în consumul intern de energie s-a redus de la 11,3 la 8,9, deși consumul intern de energie a crescut în aceeași perioadă cu 13,6%. Comparativ cu alte țări, se constată că, din rîndul țărilor sudice (cu climat cald, mediteranean) Grecia, Italia, Portugalia și Spania numai Italia a avut un consum de energie al populației, aproape dublu față de cel al țării noastre, deși consumul intern de energie pe locuitor a fost mai mic cu circa 20%.

Numai celelalte țări sudice au avut un consum de energie al populației mai mic decît al României, cu 34,1%—68,7%. Totuși, în cazul Greciei, ponderea consumului populației în consumul intern de energie a fost mai mare decît cea din țara noastră (10,4% față de 9,3%). În ceea ce privește Turcia, deși consumul de energie al populației a fost aproape egal cu cel al țării noastre, totuși, dat fiind că totalul consumului intern de energie a fost de aproximativ 3 ori mai mic, ponderea consumului populației în consumul intern de energie a fost de aproximativ 3 ori mai mare decît în cazul României.

În legătură cu țările care au o climă temperată, se pot lua în considerare două subgrupe de țări, astfel: Cehoslovacia, R.D.G., Polonia și Ungaria (membre al CAER) și Regatul Unit, Austria, Belgia, Danermarca, Elveția, Franța și R.F.G. (membre ale OECD). Referitor la prima subgrupă nu se dispune de date suficiente pentru a putea face o comparație completă a consumului de energie al populației pe locuitor. Totuși, se poate constata că diferențele în plus de consum intern de energie între aceste țări și România au variat între 8,6% și 46,2%, cu excepția Ungariei la care, deși cu un consum intern de energie mai mic decît al țării noastre cu 8,3%, consumul de energie al populației a fost dublu, iar ponderea consumului populației în consumul intern de energie a fost de 21,8%. Deci, chiar și țările cu economie planificată centralizat au alocat mai multă energie consumului populației decît a alocat România, care, din acest punct de vedere, a fost pe ultimul loc în rîndul țărilor membre ale CAER.

Țările din cea de a doua subgrupă au avut un consum de energie al populației de aproximativ două pînă la patru ori mai mare, un consum intern de energie cu 14,6—33,3% mai mare decît cel al Romaniei, iar ponderile consumului populației au variat între 15,2% și 29,5%.

În ceea ce privește țările nordice (Norvegia, Suedia și Canada), consumul intern de energie pe locuitor a fost de aproximativ 2—3 ori mai mare decît al țării noastre, iar consumul de energie al populației a fost de patru ori mai mare (cazul Canadei).

Referitor la consumul de energie electrică pe locuitor, se constată următoarele:

În România, consumul de energie electrică al populației a scăzut în anul 1988 față de anul 1987 cu 7,2%, iar ponderea consumului populației în consumul intern de energie electrică a scăzut de la 6,1% la 5,4%, deși consumul intern de energie electrică pe locuitor a crescut cu 3,6%.

Analizînd și situația țării noastre în anul 1988 față de 1980, se pot constata următoarele: consumul de energie electrică al populației a scăzut cu 11,8%, ponderea consumului populației în consumul intern de energie electrică a scăzut de la 7,2% la 5,4%, deși consumul intern de energie electrică a crescut cu 14,6%. Toate acestea demonstrează că tendința de reducere a consumului de energie electrică a fost stabilă și deliberată.

Țările sudice au avut un consum de energie electrică al populației de 2—4 ori mai mare decît România și o pondere a consumului de energie electrică în consumul intern de 19,4% —27,6%. Trebuie menționat faptul că numai Italia a avut un consum intern de energie electrică mai mare cu 8,5% decît în cazul țării noastre. Turcia, deși țară mediteraneană, a avut un consum de energie electrică mult prea scăzut față de cel al României (cu o diferență de 73,8%) și, în consecință și un consum de energie electrică al populației mai mic (cu 41,2%), dar cu o pondere a consumului populației în consumul intern de energie electrică de 12,6%, deci dublu decît cea din cazul României. De altfel, Turcia este singura țară al cărui consum de energie electrică intern și al populației a fost mai mic decît în cazul țării noastre.

Subgrupa de țări membre ale CAER reflectă un consum de energie electrică al populației de 2—5 ori mai mare decît România și a alocat populației între 12,5% și 20,2% din consumul intern de energie electrică, față de 6,1% țara noastră.

În legătură cu subgrupa țărilor membre ale OECD, consumul de energie electrică al populației a fost de aproximativ 7—10 ori mai mare decît în cazul țării noastre. De asemenea, ponderea consumului populației în consumul intern de energie electrică a variat între 23,8% și 29,7%.

Țările nordice au avut un consum de energie electrică al populației de 20—30 de ori mai mare decît al României. Consumul lor intern de energie electrică le-a permis să aloce 24,5%—29,1% din acest consum, pentru populație.

Ec. PATRICIA BĂNCEANU

A. BEJAN, **Advanced Engineering Thermodynamics**, John Wiley, New York, 1988, 758 pag.

Noua carte a profesorului Adrian Bejan de la Universitatea din Duke, Carolina de Nord, constituie unul dintre cele mai valoroase tratate de termotehnică publicate în lume în ultimii 20 de ani. Lucrarea este axată pe prezentarea dezvoltărilor recente cunoscute de disciplină, în condiţiile problemelor noi ridicate de criza energetică. Direcţiile principale pe care le urmează expunerea sînt următoarele: (1) formularea termodinamicii clasice, atît în varianta axiomatică, cît şi prin folosirea aparatului matematic introdus de Gibbs; (2) prezentarea metodelor de analiză şi de proiectare bazate pe legea a 2-a a termodinamicii; (3) descrierea şi analiza minuţioasă a ultimelor cercetări în domeniul frigotehnicii, conversiei energiei solare, producerii de lucru mecanic folosind cicluri termodinamice şi în alte domenii conexe.

Lucrarea este scrisă în mod special pentru a servi unor scopuri inginereşti (deosebindu-se prin aceasta de tratatele uzuale, axate mai ales pe accentuarea laturii fizice a termodinamicii), autorul reuşind să îmbine într-un mod echilibrat prezentarea ultimelor rezultate obţinute în domeniu cu expunerea sistematică şi riguroasă a conceptelor fundamentale. Volumul conţine o bogată bibliografie, remarcabilă prin actualitatea sa. Pentru înţelegerea părţilor mai dificile din text sînt prezentate numeroase exemple şi sînt propuse probleme spre rezolvare. Excepţional este şi materialul grafic, de o mare diversitate şi originalitate.

Lucrarea este compusă dintr-o prefaţă, 12 capitole, o serie de anexe, indexul de autori şi indexul de subiecte. Prefaţa este deosebit de interesantă, deoarece precizează ideile principale după care a fost structurată expunerea materialului. Dintre acestea reţinem prioritatea pe care autorul a acordat-o dezvoltării „pe verticală" a expunerii, adică detalierii prezentării problemelor fundamentale în detrimentul dezvoltării „pe orizontală", întîlnită în majoritatea manualelor de termotehnică uzuale, care constau în prezentarea unor „colecţii" eterogene de cazuri de interes practic. O altă opţiune importantă a autorului a fost orientarea prezentării cu preponderenţă către latura aplicativă a fenomenelor, dublată de folosirea unui formalism unitar, dar nesofisticat.

Capitolul 1 (49 pag.) se referă la primul principiu al termodinamicii. Sînt prezentate principalele elemente de terminologie termodinamică şi sînt descrise tipurile de interacţiuni energetice. Primul principiu este formulat atît în cazul sistemelor închise, cît şi în cazul sistemelor deschise. Expunerea este însoţită de prezentarea a numeroase informaţii cu caracter istoric, menite a jalona principalele momente din cursul dezvoltării conceptelor. Capitolul se încheie cu prezentarea structurată a primului principiu, fiind expuse trei scheme, datorate lui Poincaré, lui Carathéodory şi respectiv lui Keenan şi Shapiro.

Capitolul 2 (62 pag.), care se ocupă de cel de-al doilea principiu al termodinamicii, începe cu formularea principiului în cazul sistemelor închise. Sînt prezentate, pe rînd, o serie de cicluri termodinamice în contact cu unul, două sau un număr oarecare de rezervoare de căldură. În continuare principiul doi este formulat în cazul sistemelor deschise. Se prezintă şi se insistă asupra importanţei modelului echilibrului termodinamic local. Un loc aparte îl ocupă expunerea unor cazuri particulare importante, care conduc la formularea principiilor de minim al energiei şi respectiv de maxim al entropiei. Cele două axiome ale lui Carathéodory şi detalierea unora dintre consecinţe încheie acest important capitol al tratatului.

Capitolul 3 (37 pag) tratează un subiect de mare interes în termotehnică şi energetică: pierderea de lucru mecanic disponibil datorită ireversibilităţilor. Autorul, care este o somitate în acest domeniu, începe prin prezentarea riguroasă a noţiunii de exergie (lucru mecanic disponibil). Sînt prezentate şi analizate principalele cicluri termodinamice întîlnite în practică: ciclurile motoare, ciclurile frigorifice şi ciclurile pompelor de căldură. Dintre mecanismele de generare de entropie (şi distrugere de exergie) sînt expuse şi analizate (*i*) transferul de căldură la diferenţe finite de temperatură, (*ii*) curgerea cu frecare şi (*iii*) amestecarea fluidelor. Fără a intra în detaliile sistemelor tehnice reale, acest capitol furnizează fundamentul teoretic pentru o parte din capitolele următoare.

Capitolul 4 (66 pag.) este dedicat termodinamicii sistemelor unifazice. Sînt deduse condiţiile de echilibru ale acestor sisteme. Urmează prezentarea cîtorva subiecte clasice: relaţia fundamentală, atît în reprezentarea în energie, cît şi în entropie, ecuaţia lui Euler, relaţia Gibbs-Duhem. Proprietăţile termodinamice sînt clasificate riguros în extensive şi intensive. Sînt prezentate şi se arată utilitatea transformărilor Legendare. O parte importantă a capitolului se referă la relaţiile dintre proprietăţile termodinamice şi derivatele lor, dintre care vom aminti numai relaţiile Maxwell şi tabelele Bridgman. Capitolul, cu grad ridicat de abstractizare, mai conţine şi o interesantă reprezentare geometrică a relaţiilor termodinamice, menită să mărească gradul de intuitivitate.

Capitolul 5 (23 pag.) este consacrat introducerii unor concepte care generalizează noţiunea de exergie. Dezvoltarea teoriei se face mai întîi pentru sisteme închise, iar apoi pentru sisteme deschise. Sînt prezentate mai multe aplicaţii, care contribuie la înţelegerea expunerii. Dintre ele menţionăm: amestecul aerului uscat cu vapori de apă, exergia aerului umed în curgere, exergia apei lichide în curgere, răcirea prin evaporare. Capitolul se încheie cu cîteva observaţii privind alegerea condiţiilor care determină starea de referinţă, în raport cu care exergia sistemului este nulă.

Capitolul 6 (107 pag.), care se referă la sisteme multifazice, începe cu prezentarea principiilor de minim energetic, în reprezentările clasice U, H, F şi G, după care se trece la stadiul stabilităţii interne a sistemelor simple, tratîndu-se stabilitatea termică, mecanică şi chimică. O parte importantă a capitolului este consacrată continuităţii stărilor gazoase şi lichide. Sînt prezentate diagramele Andrews (într-o interesantă variantă grafică), teoria lui I. Thomson, ecuaţia Van der Waals, regula lui Maxwell a ariilor egale, relaţia Clapeyron. Capitolul continuă cu introducerea diagramelor de fază şi a principiului stărilor corespondente. În final este inserat un subcapitol referitor la fenomene care au loc în vecinătatea punctului critic. Acest subcapitol, datorat lui dr. Peter Jany de la Universitatea Tehnică din München, constituie o prezentare sistematică a subiectului, ce pleacă de la conceptele de bază, introduce exponenţii punctului critic, expune principalele modele teoretice şi se încheie cu compararea teoriei cu experienţa, fiind una dintre puţinele prezentări într-un limbaj accesibil inginerilor al acestui dificil subiect de fizica stării condensate.

Capitolul 7 (61 pag.) este consacrat sistemelor în care au loc reacţii chimice. Sînt prezentate noţiunile de echilibru chimic şi afinitate şi este expus principiul lui Le Chatelier-Braun. Se continuă cu descrierea reacţiilor ireversibile. Apoi se detaliază şi se analizează arderea în regim staţionar, un subiect de mare actualitate, folosindu-se ambele principii ale termodinamicii. În finalul capitolului este tratată exergia chimică a combustibililor, precum şi arderea la volum constant.

Capitolul 8 (62 pag.) este dedicat producerii de lucru mecanic folosind cicluri termodinamice, fiind unul dintre capitolele cele mai importante în momentul actual. Începe cu prezentarea condiţiilor generale care pot determina obţinerea puterii maxime, fiind expuse pe rînd: noţiunea de temperatură optimă, randamentul care conduce la puterea maximă, distribuţia optimă a echipamentului de schimb de căldură şi o aplicaţie pentru un ciclu Bryton ideal. Sînt tratate apoi ireversibilităţile externe şi interne, care sînt proprii centralelor termoelectrice, detaliindu-se funcţionarea cazanului, expandorului, condensatorului, pompelor. Expunerea continuă cu prezentarea problematicii centralelor cu turbine cu abur şi respectiv cu gaze, în cadrul cărora este evidenţiat rolul supraîncălzitorului, al recuperatorului, al condensatorului cu vacuum, al încălzirii regeneratoare, al schimbătoarelor de căldură intermediare etc. În final sînt prezentate ciclurile combinate cu turbine cu abur şi respectiv cu gaze.

Capitolul 9 (63 pag) se referă la producerea de lucru mecanic folosind ener-

gia solară. Sînt prezentate mai întîi proprietăţile termodinamice ale radiaţiei termice, după care sînt tratate cîteva procese reversibile şi respectiv ireversibile, care folosesc radiaţia ca agent termic. În ultimul caz sînt descrise procesele foarte importante de transformare a radiaţiei monocromatice în radiaţie de corp negru, împrăştierea radiaţiei, transferul termic radiativ net, legile lui Kirchhoff. Capitolul continuă cu conversia radiaţiei corpului negru, fiind expuse teoriile propuse de Spanner, Petela şi respectiv Jeter, precum şi teoria unificatoare a autorului tratatului. Maximizarea puterii pe unitatea de arie de colector este abordată atît în cazul radiaţiei solare concentrate, cît şi neconcentrate. În continuare sînt studiate captatoarele la care pierderile termice convective sînt importante, captatoarele care funcţionează în regim neizoterm, funcţionarea în regim nestaţionar a captatoarelor, precum şi centralele solare extraterestre. Capitolul respectiv poartă puternic amprenta autorului, care este unul dintre cei mai reputaţi specialişti în domeniu.

Capitolul 10 (65 pag.) se referă la frigotehnie. El începe prin prezentarea efectului de detentă Joule-Thomson şi a posibilităţilor de producere a lucrului mecanic prin detenta fluidelor. Este studiat un caz particular de ciclu: ciclu Brayton. Se face o analiză detaliată a optimizării răcirii intermediare, care se referă la schimbătoarele de căldură în contracurent, la distribuţia schimbătoarelor, la suprastructura de izolaţie termică. În cadrul subcapitolului dedicat lichefierii este analizată, printre altele, eficienţa agenţilor frigorifici şi de lichefiere. Capitolul se încheie cu frigotehnia pe bază de efecte magnetice, în cadrul căreia sînt tratate demagnetizarea adiabatică, termometria paramagnetică şi, în final, principiul 3 al termodinamicii.

Capitolul 11 (77 pag.), deosebit de important, este dedicat proiectării termodinamice. Începe cu prezentarea principalelor tipuri de ireversibilităţi şi implicaţiile lor generale în cadrul echipamentelor energetice. Sînt analizate astfel: curgerea internă şi externă cu transfer termic, intensificarea transferului termic, izolaţia termică. Sînt studiate performanţele schimbătoarelor de căldură în contracurent, supuse unor restricţii privind suprafaţa de schimb, volumul, sau ambele caracteristici geometrice. Sînt abordate în continuare schimbătoarele de căldură cu schimbarea de fază şi se propun metode de măsurare a ireversibilităţii. O parte importantă a capitolului este dedicată stocării energiei termice, analizîndu-se stocarea energiei, durata optimă a procesului de stocare, dimensiunea optimă a schimbătorului de căldură, stocarea urmată de eliberarea energiei stocate, încălzirea şi răcirea supuse la restricţii de timp. În finalul capitolului este analizat în general transferul convectiv de masă şi căldură, care apoi este particularizat în cazul mediilor poroase.

Capitolul 12 (49 pag.) tratează unele elemente de termodinamica proceselor ireversibile. Sînt prezentate fundamentele clasice ale subiectului: forţe şi fluxuri conjugate, relaţii liniarizate, relaţiile Onsager. În continuare teoria este particularizată în cazul fenomenelor termoelectrice, dintre care sînt analizate efectele Peltier, Seebeck şi Thomson. Conducţia căldurii în medii anizotrope şi difuzia de masă sînt alte două aplicaţii prezentate în finalul capitolului.

Anexele (23 pag.) conţin constante fizice, formule matematice, elemente de calcul variaţional, relaţii pentru calculul proprietăţii lichidelor comprimate moderat, proprietăţile apei în jurul punctului de densitate maximă, analiza componentelor uzuale ale unui sistem termoenergetic (vane, turbină, compresor, ştuţuri, difuzor, schimbător de căldură), exergia gazelor la presiuni joase, tabele de proprietăţi termodinamice.

Lucrarea se adresează specialiştilor termotehnicieni şi termoenergeticieni, putînd fi consultată şi de studenţii care şi-au însuşit deja noţiunile introductive de termodinamică.

VIOREL BĂDESCU

Facultatea de Electrotehnică şi Energetică, Institutul Politehnic Bucureşti

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА НА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

ВАСИЛЕ РУДЖИНЭ, МАРИА АПОЛЗАН, МАРИЛЕНА МЭЙЕРАНУ, ЭМИЛ КОСТИН: Аспекты, касающиеся расчета энергии, необходимой для выработки стали 49—53

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

ХОРИА МЭРИЕШЬ: Актуальная стадия и тенденция при введении цифровых систем в оборудования защиты на электрических подстанциях 54—61

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ХЕРМИНА АЛБЕРТ: Снижение потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах — актуальная особо важная проблема 62—66

ИЛИЕ ПОПЕСКУ, ДУМИТРУ БЭРБУЛЕСКУ, ИУСТИНА ЗАХАРИА, НИКОЛАЕ СУФЛЕЦЕЛ: Определение импеданса и прохождения гармонических токов в сети, работающей в возмущенном режиме 67—72

ЭМАНОИЛ КОКОШ: Энергоконтроль возмущениого режима 72—76

НОВЫЕ ИСТОЧОИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ГРИГОРЕ ПОП, ГАВРИЛ МИСКЭ, КОРНЕЛИЯ ЧИОБАНУ, АУРЕЛ МИЛЕА, КРИСТИАН ТЕОДОРЕСКУ: Синтетический газ — источник сырья и енергии 77—80

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ЗАГРЯЗНЕНИЕ

ВАЛЕНТИНА БЭЛАН: Введение математических моделей с целью определения причин и снижения разницы значений теплотворной способности и потребления котла ТЭС 81—86

МИХАИЛ ЧЕКЛАН, РОДИКА ЕЛЕНА ЧЕКЛАН, МИРЧА ДАМИАН, ИОН СТИГЕР: Расчетные программы для определения размеров и проверки установки но абработке добавочной воды для паровых котлов на тепловых и теплоэлектростанцияк 87—90

НОВОСТИ

ХРОНИКА 61

ИЗ МИРОБОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 53, 91—92

РЕЦЕНЗИИ 93—94

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

VASILE RUGINĂ, MARIA APOLZAN, MARILENA MĂIEREANU, EMIL COSTIN: Aspekte der Berechnung des Energiebedarfs für die Stahlerzeugung 49—53

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER VERBUNDNETZE

HORIA MĂRIEŞ: Gegenwärtiger Stand und Zukunftsaussichten in der Einführung numerischer Systeme in den Schutzeinrichtungen der Umspannanlagen 54—61

ELEKTRISCHE NETZE

HERMINA ALBERT: Herabsetzung der Leistungs- und Elektrizitätsverluste der Trafos — eine hochaktuelle Frage 62—66

ILIE POPESCU, DUMITRU BĂRBULESCU, IUSTINA ZAHARIA, NICOLAE SUFLEŢEL: Bestimmen der Impedanz und des Verkehrs der harmonischen Ströme in einem in deformierenden Regime betriebenen Netz 67—76

EMANOIL COCOŞ: Energiewirtschaftliche Überwachung des deformierenden Regimes 72—76

NEUE ENERGIEQUELLEN UND VERFAHREN

GRIGORE POP, GAVRIL MUSCĂ, CORNELIA CIOBANU, AUREL MILEA, CRISTIAN TEODORESCU: Synthesegas als Rohstoff und Energieträger 77—80

CHEMISCHE TECHNOLOGIEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT. UNMELTSCHUTZ

VALENTINA BĂLAN: Einführung mathematischer Modelle zur Bestimung der Ursachen und Herabsetzung der Werteunterschiede zwischen dem Heizwert der Übernahme- und Verbrauchswerte der Kessel aus den Wärmekraftwerken 81—86

MIHAIL CECLAN, RODICA ELENA CECLAN, MIRCEA DAMIAN, ION STIGER: Rechenprogramme zur Bemessung und Prüfung der Zusatzwasservorbereitungsanlage fur Dampfkessel ars Wärme- und Heizkraftwerken 87—90

NEUIGKEITEN

CHRONIK 61

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN RUMÄNIEN 53, 91—92

BUCHBESPRECHUNGEN 93—94

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERRPRISES

VASILE RUGINĂ, MARIA APOLZAN, MARILENA MĂIEREANU, EMIL COSTIN: Aspects Regarding Power Demand Calculations for Steel Manufacturing 49—53

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

HORIA MĂRIEŞ: Present Stage and Developments in Promoting Numerical Systems in Transformer Substations Protection Equipment 54—61

ELECTRIC NETWORKS

HERMINA ALBERT: Transformer Power and Electricity Losses Decrease—A Most Actual Problems 62—66

ILIE POPESCU, DUMITRU BĂRBULESCU, IUSTINA ZAHARIA, NICOLAE SUFLEŢEL: Determining Harmonical Currents Impedance and Circulation in an Unbalanced Grid 67—72

EMANOIL COCOŞ: Energetic Survey of Deforming Regimes 72—76

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

GRIGORE POP, GAVRIL MUSCĂ, CORNELIA CIOBANU AUREL MILEA, CRISTIAN TEODORESCU: Synthesis, Gas as Raw Materials and Energy Source 77—80

CHEMICAL TECHNOLOGIES IN ENERGY. ENVIRONMENTAL PROTECTION

VALENTINA BĂLAN: Introducing Mathematical Models in Order to Detect Causes and Decrease Values Differences Between Calorific Power Values Between Power Plants Boilers Reception and Demand Tests 81—86

MIHAIL CECLAN, RODICA ELENA CECLAN, MIRCEA DAMIAN, ION STIGER: Computer Programmes for Dimensioning and Checking Additional Water Treatment Facilities of District Heating and Thermal Power Plants Steam Boilers 87—90

NEWS

CHRONICS 61

ENERGY WORLDWIDE 53, 91—92

REVIEWS 93—94

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

VASILE RUGINĂ, MARIA APOLZAN, MARILENA MĂIEREANU, EMIL COSTIN: Aspects concernant le calcul de l'energie necessaire pour la production de l'acier 49—53

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÈSEAUX D' ÉNERGIE

HORIA MĂRIEŞ: Le stade actuel et les tendances dans l'introduction des systèmes numériques dans les équipements de protection des postes électriques 54—61

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

HERMINA ALBERT: Réduction des pertes de puissance et d'énergie électrique dans les transformateurs—un probléme particuliérement actuel 62—66

ILIE POPESCU, DUMITRU BĂRBULESCU, IUSTINA ZAHARIA, NICOLAE SUFLEŢEL: Détermination de l'impédance et de la circulation des courants armoniques dans un réseau fonctionnant en regime deformant 67—72

EMANOIL COCOŞ: Le contrôle énergétique du régime déformant 72—76

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

GRIGORE POP, GAVRIL MUSCA, CORNELIA CIOBANU, AUREL MILEA, CRISTIAN TEODORESCU: Le gaz de synthèse—source de matiéres premières et d'énergie 77—80

TECHNOLOGIES CHIMIQUES. COMBAT CONTRE LA POLLUTION

VALENTINA BĂLAN: L'introduction des modèles mathématiques afin de depister les causes et réduire la différence entre les valeurs de la puissance calorifique et de la consommation de la chaudière d'une centrale thermique 81—86

MIHAIL CECLAN, RODICA ELENA CECLAN, MIRCEA DAMIAN, ION STIGER: Logiciel pour le dimensionnement et la vérification de l'installation de traitement de l'eau d'appoint pour les chaudières à vapeur des centrales thermiques et des centrales de chauffage 87—90

NOUVEAUTÉS

CHRONIQUE 61

DE L'ENERGETIQUE MONDIALE 53, 91—92

COMPTE-RENDUS 93—94

UNIVERSUL — c. 1789

Lei 12

Vă informăm :

Primim din partea d-lui profesor Z. Kowalski, copreşedinte al comitetului de organizare al celui de al 4-lea simpozion internaţional cu tema „Curenţi de scurtcircuit în sistemele electroenergetice", anunţul de mai jos :

Comitetul Ştiinţific Internaţional de Organizare a celui de al 4-lea simpozion cu tema „Curenţii de scurtcircuit în sistemele electroenergetice" vă informează cu plăcere că :

1 — simpozionul se va ţine în zilele de 3—4 septembrie 1990, în Palais des Congrès din Liège — Belgia ;

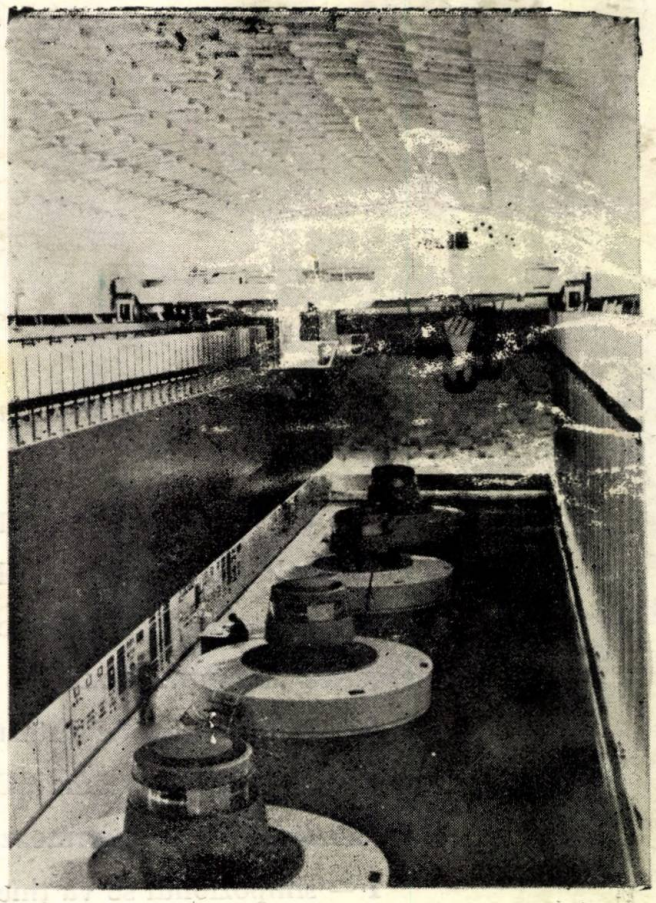
2 — în timpul simpozionului vor fi prezentate 62 de referate alese din mai mult de 100 lucrări primite din 20 ţări.

NOTĂ. Pentru participanţii din ţările Europei de Est, organizatorii garantează condiţii financiare favorabile, adică reducerea la minimum a taxelor şi a cheltuielilor de cazare şi masă.

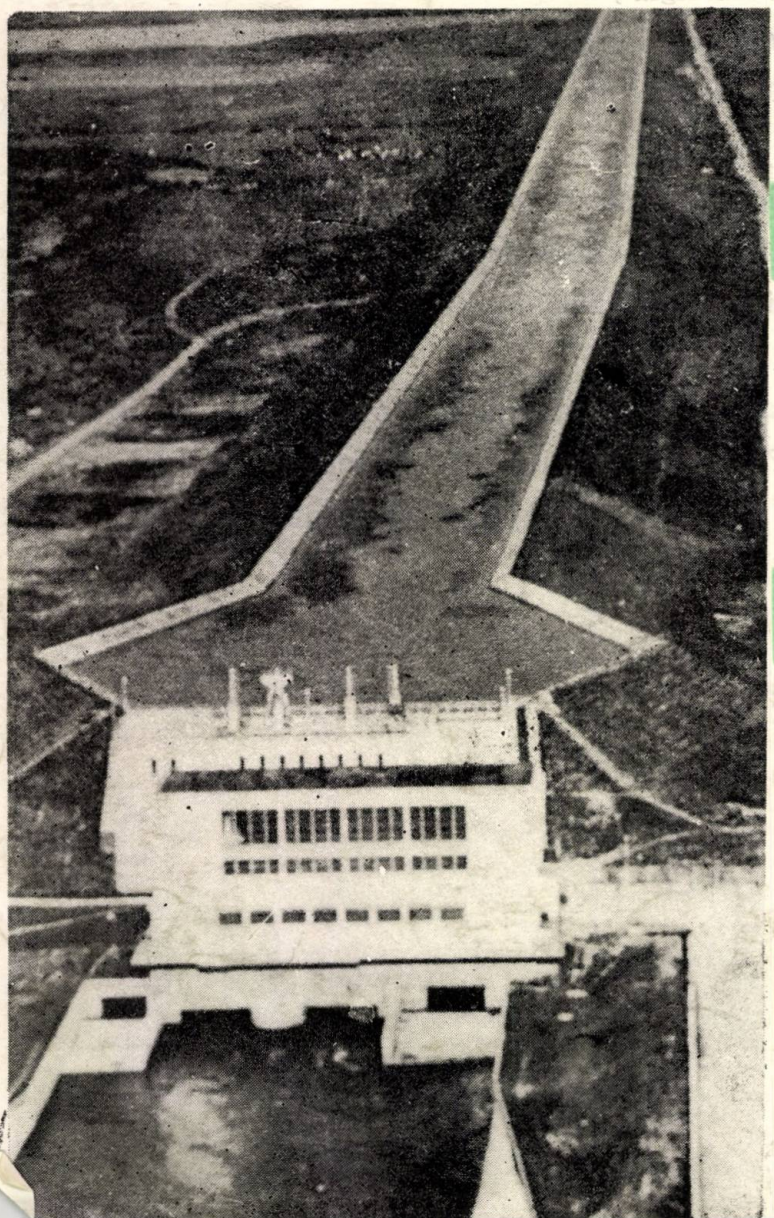
Pentru detalii sînteţi rugaţi să luaţi legătura cu University of Łódź. Institut of Electric Power Engineering, ul. Stefanowskiego 18/22, 90—924 Łódź, Poland, tel. 48/42/36/11.93, tlx. 886/36 polit pl.

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :



RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

E 2039 E DE

MW

3—4

REFERÁLVA

R 1990 -10- 24

Cuprins

ENERGETICA IN UNITĂȚI ECONOMICE

ALEXANDRU FLORESCU, CRISTINA PAVELESCU, MONA ANDRICI: **Recuperarea căldurii din gazele arse de la cuptoarele de topit sticlă din România** 97—99

AUREL GABA: **Considerații asupra recuperării căldurii fizice a gazelor arse evacuate din cuptoarele adînci** 100—102

DEZVOLTAREA SISTEMULUI ENERGETIC

MANFRED STEIN, MIRCEA CIOBANU, CHRISTIANA BĂRBULESCU: **Considerații privind influența fiabilității întrerupătoarelor asupra performanțelor schemelor stațiilor de evacuare a puterii din centralele de mare putere** 103—106

MIRCEA EREMIA: **Legăturile în curent continuu. Comparație tehnico-economică cu sistemele de taransport în curent alternativ** 107—114

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

EUGEN POTOLEA: **Regimul permanent al mașinii sincrone cu circuitele magnetice saturate** 115—118

CORNELIU VELICESCU: **Modele probabilistice pentru aprecierea continuității în alimentarea cu energie electrică** 118—124

CENTRALE TERMOELECTRICE

MARIO DUMA: **Probleme determinante ale viitorului termoenergeticii României** 125—130

NICOLAE BĂRAN, GHEORGHE BĂRAN: **Noi soluții pentru instalațiile de desprăfuire aferente stațiilor de concasare a cărbunelui din termocentrale** 131—134

GHEORGHE CARABOGDAN, MIHAI MARIUS VORONCA, CONSTANTIN BRĂTIANU: **Analiza numerică cu elemente finite a comportării în regim termic tranzitorlu a unui schimbător de căldură** 135—138

CENTRALE HIDROELECTRICE

GHEORGHE OLARU, PETRU DAN LAZĂR: **Contribuții privind implementarea digurilor energetice în largul Mării Negre** 139—142

AUREL STĂNUCĂ, CONSTANTIN TARHON, DAN ANDREI: **Proiectarea în hidroenergetică în lumina cerințelor actuale ale economiei naționale** 142—147

REȚELE ELECTRICE

IOAN FELEA: **Evaluarea pierderilor de putere și energie în condițiile funcționării transformatoarelor la abateri ale frecvenței și tensiunii efective de alimentare față de valorile nominale (cu prezentare în limba engleză)** 148—156

TEHNOLOGII CHIMICE IN ENERGETICA

GEORGE GHERCEA, RADU BĂCANU: **Formule statistice pentru determinarea compoziției materiilor volatile degajate la încălzirea cărbunilor** 157—160

IDEI NOI

CONSTANTIN I. MOCANU: **Extensiunea relativistă a teoriei lui Hertz** 161—176

PAUL CARTIANU: **Evoluția conceptului de spațiu-vid în fizică** 176—177

NOUTĂȚI

INVENȚII-INOVAȚII 178—179

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 147, 150, 180—184

energetica

VOLUMUL XXXVIII

BUCUREȘTI

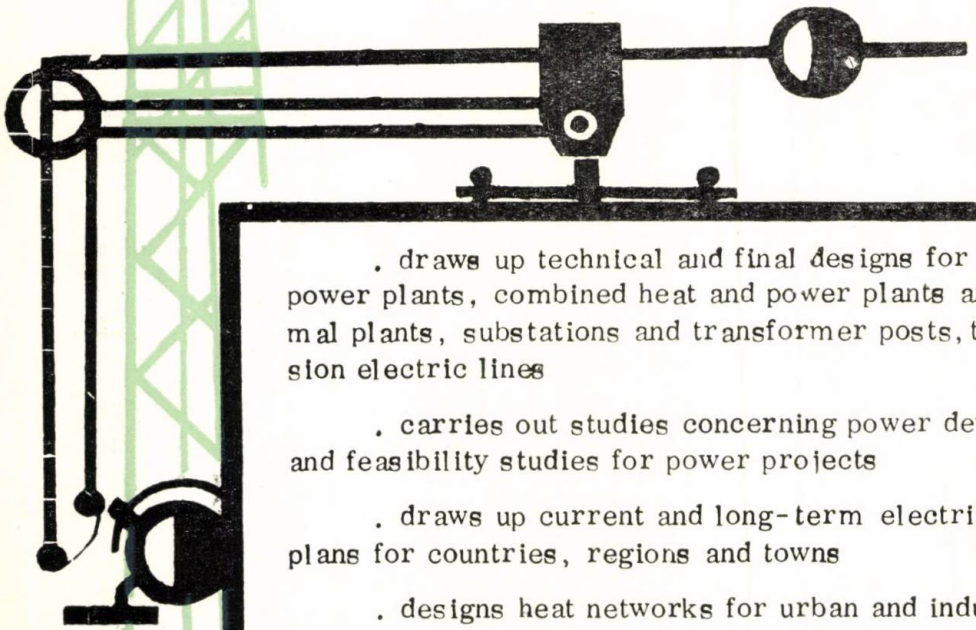
MARTIE—APRILIE 1990

ISPE

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr. 1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power system

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :



. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

1990 OKT 3

ENERGETICA

REVISTĂ DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

Anul 38 Nr. 3—4 martie—aprilie 1990

Energetica în unităţi economice

Recuperarea căldurii din gazele arse de la cuptoarele de topit sticlă din România

Ing. ALEXANDRU FLORESCU, ing. CRISTINA PAVELESCU, ing. MONA ANDRICI*

Descritori: recuperare, căldură, cuptoare

Lucrarea prezintă soluţiile tehnice adoptate în România în scopul valorificării căldurii gazelor arse cu schimbătoare de căldură recuperatoare tip gaze-apă, în scopul preparării apei calde de consum şi/sau tehnologice.

În lucrare se analizează totodată şi modul de comportare al recuperatoarelor aflate în exploatarea de lungă durată în diferite amplasamente din întreprinderi de prelucrare a sticlei.

This report presents technical solutions applied in Romania for the revaluation of burnt gases heat with recuperator gas-water heat exchangers meant to prepare household and/or technological hot water.

The behaviour of long term operating recuperators on different locations within glass processing factories is analysed

Introducere

Datorită dezvoltării multilaterale a economiei, consumul de energie a crescut considerabil sub toate formele, acest lucru conducînd la solicitări importante ale surselor energetice primare şi implicînd eforturi sporite pentru mărirea contribuţiei tuturor formelor de energie. Procesele industriale reclamă cel mai adesea cantităţi mari de combustibil, din care o parte, în multe cazuri importantă, se evacuează sub formă de resurse energetice secundare.

Ca urmare, în etapa actuală de dezvoltare economico-socială, economia de combustibili şi energie sub orice formă este o problemă de bază, care implică luarea măsurilor de mare anvergură atît pe linia descoperirii de noi surse de energie, cît şi a valorificării resurselor secundare de energie. În acest sens, industria oferă numeroase posibilităţi de valorificare a resurselor energetice secundare (RES), fapt care contribuie la îmbunătăţirea randamentelor proceselor tehnologice şi la reducerea consumului specific de energie sub diferitele sale forme.

1. Agregatul tehnologic generator de resursă energetică refolosibilă

Procesul tehnologic de elaborare a sticlei constă în topirea amestecului compus din materii prime şi cioburi, folosind energia termică rezultată din arderea gazului natural.

În timpul procesului de elaborare a sticlei au loc transformări fizico-chimice ale componentelor amestecului, creşterea temperaturii acesteia pînă la punctul de topire, evaporarea umidităţii conţinute în amestec, descompuneri chimice şi interacţiuni cu formare de silicaţi. Toate acestea se petrec într-un cuptor tip vană cu flacără transversală, longitudinală sau în formă de „U", în care numai 25—45% din căldura combustibilului se foloseşte pentru topirea sticlei, restul se pierde: prin gazele arse (30—40%) şi prin pereţii cuptorului (24—40%).

În ultimii ani s-au făcut lucrări de modernizare la cuptoare utilizîndu-se camere regeneratoare ca instalaţie de bază, atît în scopul recuperării căldurii gazelor de ardere, cît şi îmbunătăţirii tehnologiei, ceea ce a dus la reducerea consumului specific de combustibil la kilogramul de sticlă topită cu circa 30%. Camerele regenerative, cîte două la fiecare cuptor, funcţionează în regim alternativ, cu

* Ing. Alexandru Florescu, ing. Cristina Pavelescu, ing. Mona Andrici — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti

cicluri de 15—30 minute : una în regim de încălzire, parcursă de gazele de ardere și alta în regim de răcire, parcursă de aerul de ardere care se preîncălzește preluînd căldură de la umplutura de material acumulator de căldură din interior. La ciclul următor circulația fluidelor se modifică cu ajutorul unui inversor. Gazele de ardere sînt evacuate în continuare prin tiraj natural la coș. Chiar și pentru cele mai bune variante constructive termotehnice, eficiența de recuperare a căldurii gazelor de ardere este de 60—65%, limita termică superioară fiind de 70%. Acest lucru, face ca nu toată căldura conținută în gazele de ardere intrate în camerele regeneratoare să poată fi preluată în aerul pentru combustie, ceea ce duce la evacuarea gazelor de ardere din recuperator la o temperatură destul de ridicată : circa 300—500°C. Din bilanțul termic al unui ansamblu cuptor-regenerator la un cuptor de mare capacitate, rezultă că pierderea de căldură cu gazele evacuate la coș este foarte mare, circa 30—40% din energia introdusă, ceea ce justifică necesitatea recuperării acestei RES care deține o pondere atît de importantă în bilanțul energetic. Utilizarea acestei resurse implică, însă, rezolvarea prin cercetare a unor dificultăți tehnice și tehnologice, astfel încît să se ajungă la soluții care să satisfacă atît din punct de vedere tehnic, cît și al eficienței economice.

2. Tipuri de soluții de recuperare utilizate

În ceea ce privește utilizarea căldurii gazelor arse evacuate la coș, se constată o orientare spre producerea de apă caldă printr-un schimbător de căldură metalic de tip gaze-apă.

La alegerea tipului constructiv și la dimensionarea recuperatorului, s-a ținut seama de o serie de condiții și criterii :

— existența în gazele arse a unor pulberi foarte fine, care pot imprima un caracter corosiv chimic și/sau mecanic, funcție de caracteristicile componentelor ce intră în rețeta de fabricare a produsului provenind din amestecul de materii prime sau din arderea materialului refractar, a impus utilizarea unor soluții care să permită curățirea fără dificultăți a depunerilor de pe fascicolul de țevi și să asigure o rezistență mare față de acțiunea distructivă a substanțelor din agentul purtător al resursei energetice secundare ;

— același considerent limitează temperatura gazelor de ardere la ieșirea din schimbătorul de căldură recuperator la circa 200°C, constatîndu-se, experimental, că sub această valoare depunerile de pulberi din gazele de ardere sînt sub formă de crustă greu de îndepărtat de pe suprafețele cu care intră în contact. Totodată, temperatura gazelor de ardere la evacuarea din schimbătorul de căldură este limitată la valoarea de circa 200°C, pentru evitarea apropierii de temperatura punctului de rouă acidă ;

— necesitatea compensării unei pierderi suplimentare de sarcină pe traseul gazelor de ardere, care în cazul în care nu se poate modifica înălțimea coșului de fum, conduce la consumuri suplimentare de energie. Acest consum suplimentar de energie poate fi redus prin limitarea vitezei gazelor arse în recuperatorul de căldură la 4—6 m/s ;

— posibilitate practică de a prepara apa caldă cu valoarea maximă a temperaturii de 95/75°C.

Schema de montaj pentru un schimbător de căldură recuperator este prezentată în figura 1.

În scopul valorificării căldurii gazelor arse evacuate la coș cu temperaturi în jur de 400—450°C, s-a utilizat în mai multe întreprinderi din România schimbătorul de căldură recuperator metalic gaze-arse — apă tip ignitubular orizontal cu două treceri pentru agentul termic primar (figura 2). Acest tip de schimbător de căldură realizează un grad de recuperare a căldurii din gazele arse de circa 55—60%.

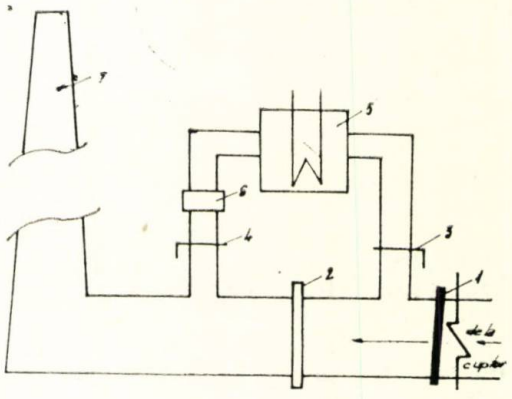


Fig. 1. Schema de montaj a schimbătorului de căldură recuperator : 1 — șiber reglare presiune ; 2 — șiber principal cu acționare automată ; 3, 4 — șibere manuale ; 5 — schimbător de căldură recuperator ; 6 — exhaustor ; 7 — coș de fum.

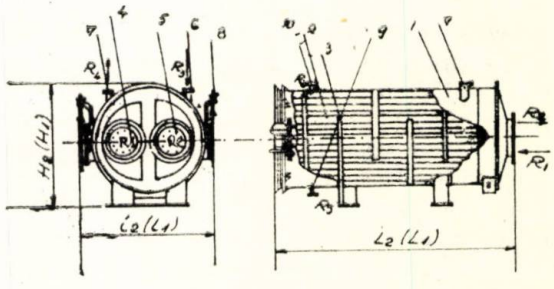


Fig. 2. Recuperator de căldură ignitubular orizontal : 1 — corpul recuperatorului ; 2 — fascicol de țevi ; 3 — pereți transversali (șicane) ; 4 — racord intrare gaze (R_1) ; 5 — racord ieșire gaze (R_2) ; 6 — racord intrare apă (R_3) ; 7 — racord ieșire apă (R_4) ; 8 — gura de vizitare ; 9 — racord golire (R_5) ; 10 — racord aerisire (R_6) (L_1, L_2), (L_2, L_3) — aferent țevilor, respectiv recuperatorului.

O asemenea instalație este dotată cu un sistem de automatizare complexă, care permite menținerea în limitele de siguranță a parametrilor de lucru : presiune, temperatură.

Comportarea în exploatarea de lungă durată a acestui tip de recuperator nu a fost pe deplin satisfăcătoare, punînd probleme mai ales în ceea ce privește curățirea depunerilor din gazele arse. Soluția cu așezarea verticală a recuperatorului de căldură ignitubular cu două treceri pentru gazele arse, soluție care aparent rezolva problema îndepărtării depunerilor, nu s-a dovedit eficientă, utilizatorii acestui schimbător de căldură avînd de multe ori probleme cu înfundarea țevilor.

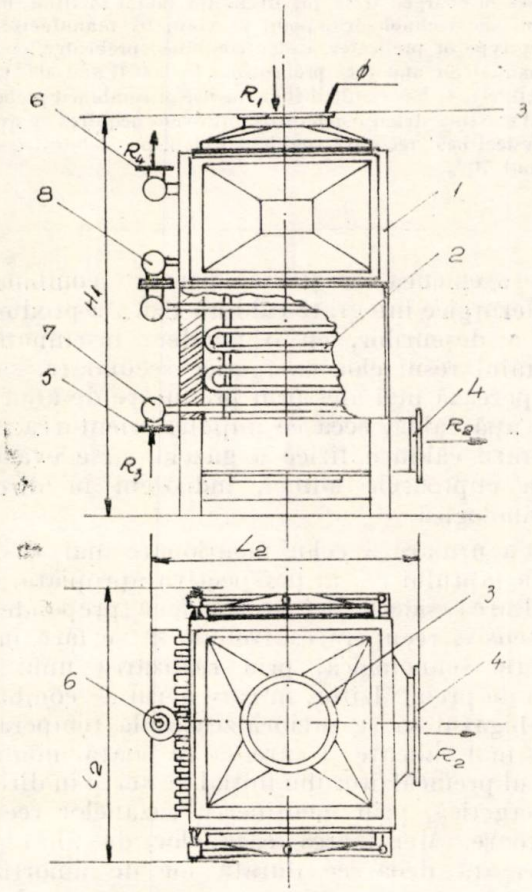


Fig. 3. Recuperator de căldură acvatubular: 1 — corpul recuperatorului ; 2 — serpentine din țevi netede ; 3 — racord intrare gaze (R_1) ; 4 — racord ieșire gaze (R_2) ; 5 — racord intrare apă (R_3) ; 6 — racord ieșire apă (R_4) ; 7 — distribuitor apă ; 8 — colector apă.

În vederea rezolvării acestei probleme s-a impus orientarea spre un alt tip de recuperator : acvatubular vertical cu o trecere a gazelor arse (fig. 3) sau orizontal cu două treceri pentru gazele arse. Aceste tipuri de recuperatoare de căldură s-au dovedit mult mai apropiate de necesitățile exploatării, fiind mai ușor de curățat de depunerile din gazele arse printr-un sistem de suflare cu aer comprimat, avantaj dublat de posibilitatea de intervenție mai ușoară la fascicolul de țevi în caz de avarie.

În ceea ce privește rezistența la acțiunea corosivă a gazelor arse s-a constatat că singura soluție care a dat rezultate în exploatare, a fost îngroșarea pereților țevilor.

Ținînd cont de problemele cu care s-au confruntat întreprinderile de prelucrare a sticlei din țara noastră, în exploatarea acestor tipuri de recuperatoare de căldură, ICEMENERG — București a demarat activitățile de realizare a unei soluții de valorificare a RES din gazele arse evacuate de la bazinul de topire al cuptoarelor de prelucrare a sticlei tip vană. O deosebită importanță s-a acordat alegerii judicioase a tubulaturii, astfel încît să satisfacă cerința de rezistență sporită la acțiunea distructivă a gazelor arse, în condițiile menținerii unor performanțe bune din punctul de vedere al transferului de căldură realizat. Recuperatorul de căldură este de tip acvatubular orizontal, cu o singură trecere a gazelor arse, cu pereții exteriori din zidărie de cărămidă și izolat termic cu vată de sticlă.

Acest tip de recuperator a fost dimensionat astfel încît să poată funcționa fără exhaustor suplimentar, evacuarea gazelor arse fiind asigurată de instalațiile existente (ventilator de aer și coș de fum).

Alte avantaje sînt :

— construcție simplă fără investiții mari;

— condiții favorabile pentru efectuarea lucrărilor de întreținere și reparații;

— durata de recuperare a investițiilor 2—4 luni.

(Primit la 2 august 1989, acceptat la 10 octombrie 1989)

Considerații asupra recuperării căldurii fizice a gazelor arse evacuate din cuptoarele adînci

Dr. ing. AUREL GABA*

Descriptori: recuperare, căldură, cuptoare

Lucrarea prezintă aspecte ale recuperării căldurii fizice a gazelor arse evacuate din cuptoarele adînci de la combinatele siderurgice, îndeosebi în direcție tehnologică, prin realizarea unui nou tip de preîncălzitor, denumit preîncălzitor mixt, în care se obțin temperaturile maxime de preîncălzire ale aerului și combustibilului, de 600°C și, respectiv, de 400°C. Este evidențiat faptul, că prin utilizarea preîncălzitoarelor mixte și a cazanelor de abur existente la cuptoarele adînci s-a obținut un coeficient mediu de recuperare a căldurii fizice a gazelor arse evacuate, de circa 70%.

The paper presents aspects on physical heat recovery of gases discharged from pit ovens for metal melting, mainly from the technological point of view, by manufacturing a new type of preheater, called combined preheater, enabling maximal air and fuel preheating, to 600°C and 400°C, respectively. It has resulted that the use of combined preheaters and existing steam boilers with pit ovens acquires an average physical heat recovery coefficient of disposed burnt gases of about 70%.

În contextul acțiunilor generale de optimizare a consumurilor specifice de energie, o atenție deosebită se acordă în siderurgie recuperării resurselor energetice secundare.

O importantă resursă energetică secundară o constituie căldura fizică a gazelor arse evacuate din cuptoarele adînci.

Recuperarea căldurii fizice a gazelor evacuate din cuptoarele adînci se poate face în direcție tehnologică prin preîncălzirea avansată a aerului de combustie și prin preîncălzirea combustibilului gazos cu putere calorifică scăzută și în direcție energetică prin producerea de abur. Preîncălzirea șarjei, ca soluție de recuperare în direcție tehnologică, nu se poate aplica la cuptoarele adînci întrucît lingourile sînt introduse calde în cuptoare în proporție de peste 80%. De asemenea, această soluție de recuperare, constînd în preluarea gazelor arse cu temperatura maximă de 500°C, de la evacuarea din preîncălzitorul de aer și trimiterea acestora, cu ajutorul unui ventilator, prin niște ajutaje dispuse echidistant, în care se obțin viteze de circa 80 m/s, pe suprafețele lingoului, nu s-ar putea aplica eficient economic nici în cazul utilizării unor cuptoare numai pentru șarje reci, datorită rezistenței termice foarte mari a lingourilor.

Recuperarea primară, în direcție tehnologică, prin preîncălzirea aerului de combustie la temperatura de 250—400°C și recuperarea secundară, prin utilizarea cazanelor de abur în care gazele arse sînt introduse cu temperaturi de 500—600°C, sînt practic generalizate. Totodată se constată, pentru aceste cuptoare, valori scăzute ale coeficienților de recuperare.

De asemenea, se știe că pentru combinatele siderurgice integrate căldura fizică a produselor și a deșeurilor, cu o pondere însemnată în totalul resurselor energetice secundare, se recuperează mai ales prin producere de abur sau de apă caldă, ceea ce impune orientarea recuperării căldurii fizice a gazelor arse evacuate din cuptoarele adînci, îndeosebi în direcția tehnologică.

Ca urmare a celor menționate mai sus, cît și a faptului că, în perspectiva apropiată, dezvoltarea siderurgiei se va face preponderent intensiv, recuperarea trebuie să se facă în direcție tehnologică, prin realizarea unui nou tip de preîncălzitor, în care aerul de combustie și bigazul să se preîncălzească la temperaturi cît mai ridicate și care să se poată monta în locul preîncălzitorului inițial de aer și în direcție energetică, prin menținerea cazanelor recuperatoare. Menținerea cazanelor de abur este necesară deoarece durata lor de amortizare este foarte mare, iar temperatura gazelor la intrarea în cazan poate rămîne în domeniul uzual de funcționare al acestuia.

În figura 1 se prezintă, pentru un cuptor adînc alimentat cu bigaz cu o putere calorifică inferioară de 8400 kJ/m³*, variația entalpiei gazelor arse IG în funcție de temperatura TGE, pentru diverși coeficienți de exces de aer, și variația entalpiei aerului IA și a bigazului IC în funcție de temperaturile de preîncălzire TA și TC. Considerînd temperatura de intrare în preîncălzitor de 1200°C, pierderile de căldură din preîncălzitor ΔI egale cu 5% din entalpia gazelor arse la intrarea în preîncălzitor și temperatura de preîncălzire a aerului de combustie

* Dr. ing. Aurel Gaba — Institutul de Cercetări Metalurgice București

* m³ în condiții de temperatură și presiune normală (în toată lucrarea).

și a bigazului de 600°C și respectiv de 400°C, se constată că temperatura gazelor arse la intrarea în cazanul de abur este situată în domeniul menționat, fiind de 560°C.

Temperaturile maxime de preîncălzire ale aerului și bigazului, de 600°C și, respectiv, de 400°C, reprezintă varianta optimă determinată în lucrarea [1] prin comparație tehnico-economică, aplicînd criteriul diferenței de chel-

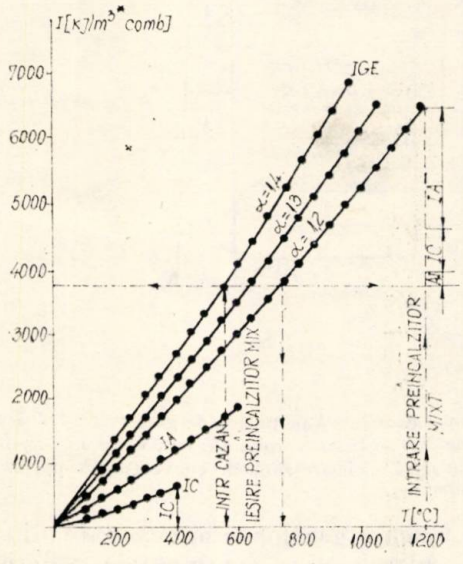


Fig. 1. Entalpia combustibilului IC, a aerului de combustie IA și a gazelor evacuate din cuptorul adînc IGE în funcție de temperaturile respective: TC, TA și TGE.

tuieli anuale totale. Variantele comparate s-au ales ținînd cont de temperaturile maxime de preîncălzire realizate pe plan mondial în diverse tipuri de preîncălzitoare utilizate la cuptoarele adînci (tabelul 1).

Pentru determinarea cît mai exactă a principalilor parametri necesari dimensionării noului preîncălzitor, care să realizeze temperaturile maxime de preîncălzire ale aerului și bigazului, de 600°C și, respectiv, de 400°C, denumit preîncălzitor mixt, s-a utilizat un model matematic, ce a fost prezentat în lucrarea [8], cu ajutorul căruia s-a simulat funcționarea întregului agregat de încălzire (instalația de ardere, preîncălzitorul mixt și cuptorul propriu-zis) împreună cu șarja supusă încălzirii. De asemenea, s-a realizat un model matematic pentru dimensionarea suprafețelor de schimb de căldură, astfel încît preîncălzitorul mixt să se poată monta în locul preîncălzitorului inițial de aer. Amplasarea preîncălzitorului mixt în cadrul agregatului de încălzire se prezintă în figura 2. În această figură s-au notat și punctele în care s-au amplasat sondele speciale pentru măsurarea temperaturilor și presiunilor și prin care s-au prelevat probe de gaze arse.

Determinările experimentale s-au efectuat pe două preîncălzitoare mixte ce echipează cuptoarele adînci dotate cu un cazan de abur. Pe lîngă măsurătorile efectuate cu sondele speciale s-au înregistrat toate valorile parametrilor măsurați cu aparatura din dotarea celor două

Tabelul 1

Temperaturile maxime de preîncălzire a aerului de combustie și a combustibilului la cuptoarele adînci

Denumirea combinatului, a uzinei (țara)	Preîncălzitor de aer			Preîncălzitor de combustibil		Sursa bibliografică
	Tipul	Temperatura maximă (°C)	Puterea calorică inferioară (kJ/m³)	Tipul	Temperatura maximă (°C)	
Rheinhausen-Krupp Stahl, AG (R. F. Germania)	Preîncălzitor metalic de radiație și preîncălzitor metalic de convecție	600	4380	Preaîncălzitor metalic de convecție	375	[2]
Trinéc (R. S. Cehoslovacă)	Preîncălzitor metalic Preîncălzitor ceramic	420 650	6900 6900	Preîncălzitor metalic de convecție Nu are	280	[3]
Hoesch-Hüttenwerke AG (R. F. Germania)	Preîncălzitor metalic de radiație	400	6720	Preîncălzitor metalic de convecție	320	[4]
Appleby Frodingham BSC (Marea Britanie)	Preîncălzitor metalic	575	5000	Preîncălzitor metalic de convecție	400	[5]
Uz. metalurgică Zapadno-Sibirsk (U.R.S.S.)	Preîncălzitor metalic pentru aer de ejecție și ceramic pentru aerul ejectat	800	5900	Preîncălzitor metalic de convecție	300	[6]
Combinatul metalurgic-Nijnii Taghil (U.R.S.S.)	Preîncălzitor metalic pentru aer de ejecție și ceramic pentru aerul ejectat	850	8400	Preîncălzitor metalic de convecție	300	[7]

cuptoare adînci, precum și a cazanului de abur. De asemenea, s-au efectuat și alte determinări necesare stabilirii coeficienților de schimb de căldură, consumului specific de combustibil și corectitudinii procesului tehnologic de încălzire-laminare a lingourilor.

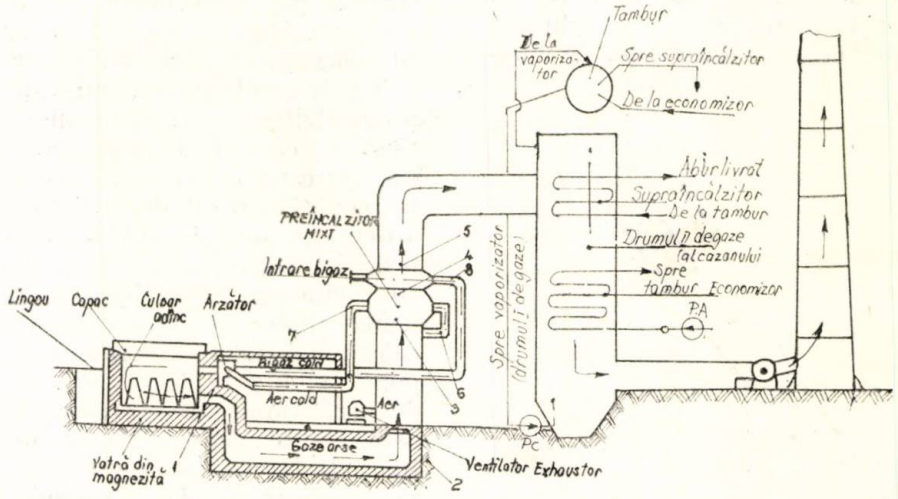


Fig. 2. Amplasarea preîncălzitorului mixt și a punctelor de măsură. Puncte de măsură pe partea de gaze arse: 1 — ieșire cuptor; 2 — intrare zona de radiație; 3 — intrare zona de convecție aer; 4 — intrare zona de convecție bigaz; 5 — ieșire zonă de convecție bigaz. Pe partea de aer: 6 — ieșire zona de radiație; 7 — ieșire zona de convecție. Pe partea de bigaz: 8 — ieșire zona de convecție.

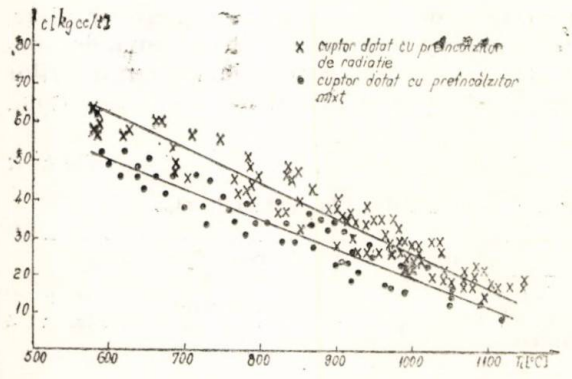


Fig. 3. Variația consumului specific de combustibil în funcție de temperatura medie T_i a șarjei la introducerea în cuptor.

În figura 3 se prezintă consumul specific de combustibil în funcție de temperatura medie T_i a șarjelor la introducerea în cuptoarele adînci dotate cu preîncălzitoare mixte și, respectiv, cu preîncălzitoare inițiale de radiație. Rezultă că prin utilizarea preîncălzitoarelor mixte se reduce consumul specific de combustibil cu circa 20%.

În același timp, experimentările industriale au confirmat corectitudinea calculelor teoretice, valorile rezultate experimental fiind în bună concordanță cu cele calculate pe baza modelelor matematice menționate.

De asemenea, s-a constatat experimental că prin utilizarea preîncălzitoarelor mixte și a cazanelor de abur existente s-a obținut un coeficient mediu, de recuperare a căldurii fizice a gazelor arse evacuate din cuptoarele adînci, de circa 70%, din care recuperarea în direcție tehnologică (preîncălzirea aerului și a combustibilului gazos) este de 60%, iar recuperarea în direcție energetică este de 40%.

Din cele de mai sus rezultă că recuperarea resurselor energetice secundare, constînd din căldura fizică a gazelor arse evacuate din cuptoarele adînci din combinatele siderurgice integrate, trebuie să se facă în direcție tehnologică, prin preîncălzirea aerului de combustie și a combustibilului la valorile maxime de 600°C și 400°C, limitate de tipul preîncălzitorului, de siguranța în funcționare și de caracteristicile oțelurilor refractare și, în direcție energetică, prin producerea de abur în cazanele recuperatoare existente.

Bibliografie

[1] Gaba, A. ș.a. *Optimizarea recuperării căldurii fizice a gazelor evacuate din cuptoarele adînci.* În: Cercetări metalurgice, vol. 28, 1987, p. 65—69.

[2] Voigt, M., Gruner, M. *Erfahrungen mit der ZrO_2 — Sauerstoffmessonde der Regelung des Gas/Luft — Verhältnisses in Tieföfen.* In: Stahl und Eisen, R.F.G., nr. 14, 1982, p. 715—721.

[3] Karel, S. *Poznatku z provozu rekonstruovanych hlubinnych peci v TZVRSR Trinec.* In: Hutnik, R.S.C., nr. 10, 1982, p. 364—368.

[4] Rollwagen, G. *Massnahmen Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Tieföfenanlagen.* In: Stahl und Eisen, R.F.G., nr. 26, 1978, p. 1383—1391.

[5] Robertson, A. D., Milthorp, R. F. *Development of burner design for U — fierd soaking pits at Appleby — Frodingham.* In: Journal of the Iron and Steel Institute, Anglia, 1972, p. 561—569.

[6] Korocikin, E., N. ș. a. *Issledovanie rabotih nagrevatelnih kolodtev s odnoi verhneigorelkoi.* In: Stal, U.R.S.S., nr. 2, 1972, p. 147—148.

[7] Ioffe, Ia. E. ș.a. *Ulucișenie kacestva krupnih slitkov.* In: Metallurg, U.R.S.S., nr. 11, 1978, p. 32—33.

[8] Gaba, A. *Model matematic de calcul al transferului de căldură în cuptoare de încălzire.* In: Metalurgia, 40 (1988), nr. 4, p. 194—198.

(Primit la 18 iulie 1989, acceptat la 5 octombrie 1989)

Considerații privind influența fiabilității întrerupătoarelor asupra performanțelor schemelor stațiilor de evacuare a puterii din centralele de mare putere

Ing. MANFRED STEIN, dr. ing. MIRCEA CIOBANU,
ing. CHRISTIANA BĂRBULESCU*

Descriptori: fiabilitate, întrerupătoare, stații electrice

În lucrare se tratează interdependența între calitat a (fiabilitatea) în funcționare a întrerupătoarelor dintr-o schemă de racord la sistem a unei centrale echipată cu grupuri de mare putere și gradul de expunere al grupurilor la evenimente care potențial pot periclita stabilitatea sau însăși integritatea grupurilor.

Analizele efectuate se referă la diverse moduri de exploatare ale schemelor de racord la sistem.

Totodată se analizează și o variantă de schemă cu „1,5 întrerupătoare" pe circuit, cu scopul scoaterii în evidență a avantajelor acestei scheme din punctul de vedere al scăderii numărului de deconectări ale grupurilor din centrale.

The paper deals with the interdependence between the reliability of circuit breakers from a connection scheme of a high power units plant to a grid and the exposure degree of units to events endangering units stability or even their integrity.

Analyses refer to different operation manners of grid connection schemes.

A scheme variant with „1.5 circuit breakers" intending to outline the advantages of this scheme from the point of view of descreasing of disconnection numbers power plant units is presented.

Este cunoscut faptul că siguranța în funcționare a grupurilor energetice de putere unitară mare este determinată în mare măsură și de performanțele schemelor stațiilor prin intermediul cărora se realizează evacuarea puterii din centrale. Aceste performanțe sînt, evident, puternic influențate de calitatea echipamentelor utilizate și în special a întrerupătoarelor.

Defectul de întrerupător care influențează în cea mai mare măsură performanțele schemei sub aspectul considerat este refuzul funcționării în caz de defect. Efectul unor asemenea refuzuri este totdeauna o deconectare a unor elemente suplimentare din schemă și pentru a fi controlat se prevăd instalații DRRI cu funcțiunea de a reduce la minimum consecințele defectului și de a selecta în mod precis elementele care trebuie deconectate în asemenea cazuri.

Dat fiind că marile grupuri energetice sînt sensibile la scurtcircuite apropiate sau relativ apropiate, se urmărește ca selectarea unor astfel de defecte să se facă într-un timp impus și aceasta, atit de către întrerupătorul direct implicat în deconectarea defectului, cît și de întrerupătoarele acționate prin DRRI, în cazul cînd primul refuză. Aceasta impune înalte performanțe atit întrerupătoarelor, cît și instalațiilor de protecție care le comandă.

În legătură cu deconectarea în siguranță a marilor grupuri generatoare trebuie însă avut în vedere faptul că la acționarea DRRI se poate de asemenea produce un refuz de funcționare, de această dată a cel puțin unuia dintre multiplele întrerupătoare care sînt comandate prin DRRI, în care caz, evident, timpul de deconectare al scurtcircuitului va fi considerabil mărit.

Acest aspect poate conduce la fenomene periculoase atit pentru grupuri, cît și pentru funcționarea întregii centrale în ansamblu. Numărul de întrerupătoare care trebuie să deconecteze la DRRI variază în funcție de schema de conexiuni.

Dat fiind că, din studiile elaborate în ISPE, a rezultat că schema cu 1,5 întrerupătoare pe circuit este cea mai indicată pentru stațiile de evacuare a puterii din marile centrale din țara noastră, considerațiile care urmează privind aspecte de natura celor sus-menționate se vor referi la acest tip de schemă, deși considerații asemănătoare pot fi extinse la oricare alt tip de schemă de stație.

1. Astfel, analiza se va efectua pentru o schemă de tipul celei prezentate în figura 1, care servește pentru evacuarea puterii a patru mari unități generatoare prin șase linii de foarte înaltă tensiune și la care sînt racordate două transformatoare coboritoare pentru alimentarea serviciilor proprii ale centralei.

* Ing. Manfred Stein, dr. ing. Mircea Ciobanu, ing. Christiana Bărbulescu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

Examinarea schemei se va face sub aspectul calităţii întrerupătoarelor din punctul de vedere al siguranţei pe care o oferă la deconectare, precum şi sub cel al influenţei cuplelor longitudinale situate la mijlocul barelor colectoare.

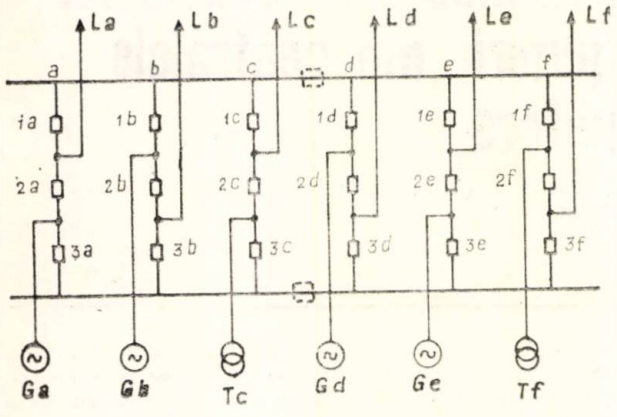


Fig. 1

Performanţele întrerupătoarelor din punctul de vedere al siguranţei, sub aspectul probabilităţii de refuz la acţionare în caz de scurtcircuit, sînt descrise de probabilitatea

$$q\left(q = \frac{\text{Nr. solicitări cu refuz}}{\text{Nr. total solicitări}}\right),$$

respectiv $p = 1 - q$.

La un defect pe linia La, de exemplu, trebuie să acţioneze, pentru a preîntîmpina propagarea defectului, întrerupătoarele 1a şi 2a (şi în mod similar pentru orice defect de pe oricare din elementele racordate). La orice defect, de pe aceste elemente racordate, însoţit de refuz de întrerupător, se pot deosebi două situaţii :

a) întrerupătorul 1 a, de exemplu, refuză. Vor trebui să acţioneze prin DRRI $N-1$ întrerupătoare (unde N este numărul de bretele);

b) în cazul în care refuză, de exemplu, întreupătorul 2 a, se observă că trebuie să acţioneze prin DRRI numai întrerupătorul 1a, respectiv, după caz, întrerupătorul 3 a.

Dacă în prima situaţie unul din aceste întrerupătoare refuză, există riscul producerii deconectării tuturor grupurilor prin pierderea stabilităţii datorită duratei suplimentare de eliminare a defectului (în ipoteza că în cazul unui DRRI pentru întrerupătoarele adiacente barelor reuşit, grupurile îşi păstrează stabilitatea).

Presupunînd întrerupătorul 1a caracterizat prin probabilităţile p_1 şi q_1, iar întrerupătorul 2 a caracterizat prin probabilităţile p_2 şi q_2 (şi în mod similar pentru toate întrerupătoarele adiacente barelor, respectiv întrerupătoarele mediane), se poate scrie :

$$p_1p_2 + p_1q_2 + p_2q_1 + q_1q_2 = 1,$$

unde :

p_1p_2 reprezintă probabilitatea ca ambele întrerupătoare să acţioneze corect;

p_1q_2 — probabilitatea ca întrerupătorul 1 a să acţioneze corect, iar 2 a să refuze;

p_2q_1 — probabilitatea ca întrerupătorul 2 a să acţioneze corect, iar 1 a să refuze;

q_1q_2 — probabilitatea ca ambele întrerupătoare să refuze.

Dacă se notează cu n_L, n_g şi n_T numărul de solicitări la defecte aferente liniilor, generatoarelor, respectiv transformatoarelor, în cazul a) pentru $Na = (n_L + n_g + n_T)\ p_2q_1$ cazuri este necesar să acţioneze prin DRRI $N-1$ întrerupătoare.

În cazul b) pentru un număr de $N_b = (n_L + n_g + n_T)\ p_1q_2$ cazuri este necesar să acţioneze numai cîte unul dintre întrerupătoarele adiacente barelor din breteaua respectivă (pe care a refuzat întrerupătorul median).

Probabilitatea ca unul sau mai multe din cele $N-1$ întrerupătoare să refuze (probabilitatea de refuz a DRRI) este $1 - p_1^{N-1}$, deci numărul DRRI pe bare cu refuz va fi :

$$N_{refDRRI} = (n_L + n_g + n_T)(p_2q_1)(1 - p_1^{N-1}) +$$

$$+ (n_L + n_g + n_T)\cdot p_1q_2(1 - p_2)^2.$$

S-au considerat şi refuzurile întrerupătoarelor mediane, pe lîngă ale celor adiacente barelor (corespunzător cazurilor descrise a) şi b).

Datorită valorii mici a produsului q_1q_2, s-a neglijat această probabilitate, care reprezintă refuzurile simultane ale ambelor întrerupătoare (1 şi 2) la solicitare.

Toate întrerupătoarele sînt de acelaşi tip, deci $p_1 = p_2 = p$, astfel încît (2) devine :

$$N_{ref\ DRRI} = (n_L + n_g + n_T)\ pq\ (1 - p^{N-1}) +$$

$$+ (n_L + n_g + n_T)\ pq\cdot$$

$$\cdot(1-p^2) = (n_L + n_g + n_T)\ pq[(1-p^{N-1}) + (1-p^2)]$$

Deci, numărul mediu total de refuzuri ale DRRI, exprimat ca o funcţie de p, este :

$$N_{ref\ DRRI} = (n_L + n_g + n_T)\cdot$$

$$\cdot pq\cdot[(1-p^{N-1}) + (1-p^2)]. \qquad (3)$$

Exprimînd numărul mediu total de refuzuri ale DRRI ca funcţie de p, rezultă că acesta este cu atît mai mare cu cît performanţele de siguranţă ale întrerupătoarelor utilizate $q = 1-p$ sînt mai proaste.

Considerînd acum schema analizată cu secționarea barelor la mijloc (cupla deschisă), adică periclitînd numai jumătate din grupuri la fiecare refuz al DRRI, numărul mediu total de refuzuri al DRRI devine :

$$N_{ref\ DRRI} = \frac{1}{2}(n_L + n_g + n_T)\cdot pq\cdot$$

$$\cdot[(1 - p^{\frac{N}{2}-1}) + (1 - p^2)]. \qquad (4)$$

În schimb, în această variantă trebuie avut în vedere faptul că datorită scăderii puterii de scurtcircuit pe bare distanța pe linii pînă la care defectele sînt încă periculoase poate crește [1], ceea ce afectează corespunzător și numărul de defecte periculoase $N_{ref\ DRRI}$.

Se consideră acum aceeași schemă, secționată însă prin cuple longitudinale (cupla închisă), figurate punctat în figura 1. În acest caz, la un defect însoțit de refuzul întrerupătorului 1 a, trebuie să acționeze numai $\frac{N}{2} - 1$ întrerupătoare adiacente barelor și în plus, pentru evitarea extinderii defectului la cealaltă secție de bare, întrerupătorul de cuplă, adică $\left(\frac{N}{2} - 1\right) +$ $+1$ întrerupătoare.

Deci, numărul mediu total de refuzuri DRRI în acest caz este :

$$N_{ref\ DRRI} = (n_L + n_g + n_T)\cdot pq\cdot$$

$$\cdot[(1 - p^{\frac{N}{2}}) + (1 - p^2)]. \qquad (5)$$

În figura 2 se reprezintă pentru cele trei cazuri descrise acest număr de DRRI însoțit de refuz în funcție de calitatea întrerupătoarelor (descrisă prin probabilitatea q).

Curbele s-au trasat pentru următoarele valori :

$$n = n_L + n_g + n_T$$

$$n = \lambda_l \cdot l \cdot T + \lambda_g \cdot m + \lambda_T \cdot r, \text{ unde :}$$

λ_l*, λ_g, λ_T — intensitățile de avariere ale unei porțiuni de 100 km de linie, respectiv ale generatoarelor și transformatoarelor

$$\lambda_l = 1{,}3/100 \text{ km ani}^{-1}, \quad \lambda_g = 2 \text{ ani}^{-1},$$

$$\lambda_T = 0{,}2 \text{ ani}^{-1};$$

$T = 1$ an ;

m reprezintă numărul de generatoare ; $m = 4$;
r — numărul de transformatoare ; $r = 2$;
l — lungimea totală a liniilor ; $l = 500$ km ;

$q = l - p$ — probabilitatea de refuz a întrerupătoarelor la solicitarea pentru deconectarea unui defect. q se consideră egal cu 0,02 ; 0,05 ; 0,1 ; 0,2 pentru a se putea evidenția efectul pe care îl are calitatea întrerupătoarelor asupra schemei.

Se constată că în cazul întrerupătoarelor cu performanțe bune (q este mic), schema de exploatare a stației de evacuare, respectiv modul de secționare al barelor contează mai puțin.

2. Pentru îmbunătățirea condițiilor de funcționare și exploatare a schemelor stațiilor de evacuare a puterii din centrale echipate cu grupuri de foarte mare putere unitară, în care cazuri un accent deosebit se pune pe reducerea la minimum a riscului deconectării grupurilor, se pot avea în vedere anumite îmbunătățiri ale schemei cu 1,5 întrerupătoare pe circuit.

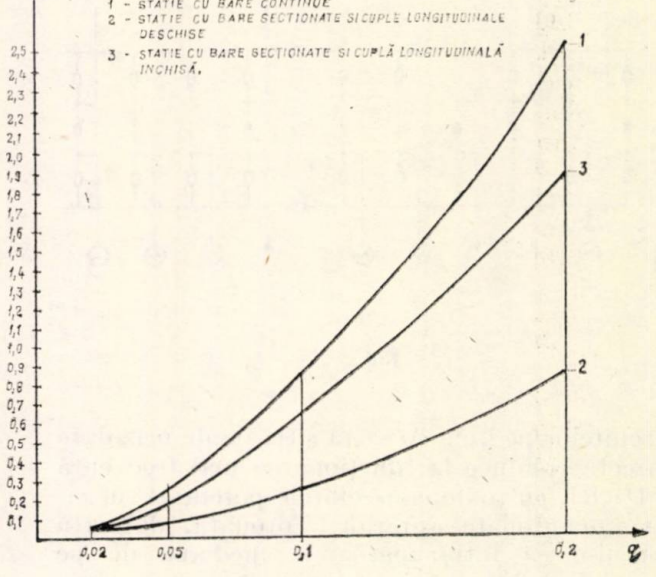


Fig. 2. Numărul refuzurilor DRRI cu afectare parțială a grupurilor din centrală, funcție de performanțele întrerupătoarelor.

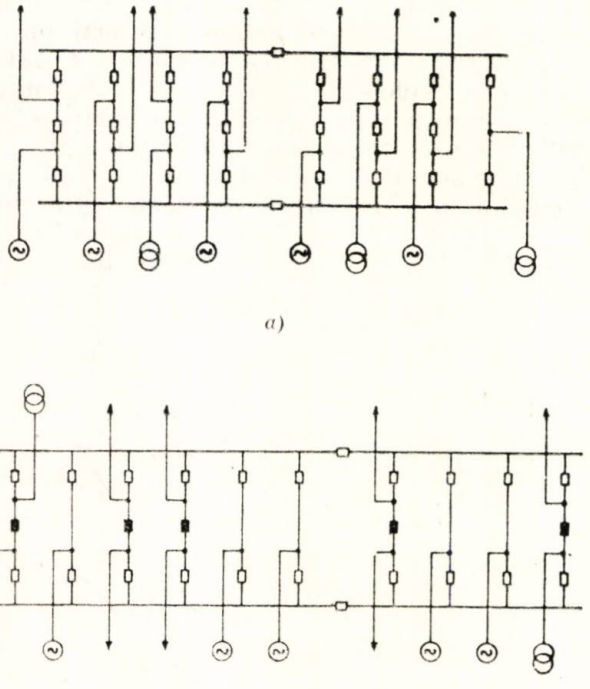
Îmbunătățirile scontate sînt cu atît mai mari, cu cît calitatea întrerupătoarelor de care se dispune este mai slabă.

Astfel, în fig. 3*a* se prezintă o variantă clasică a schemei cu 1,5 întrerupătoare pe circuit pentru o stație de evacuare a puterii dintr-o centrală, echipată cu cinci grupuri de mare putere, șapte linii și trei transformatoare de servicii proprii. În figura 3*b* se prezintă o schemă care îmbunătățește situația din punctul de vedere al riscului deconectării grupurilor. Din compararea celor două scheme se poate observa imediat că, pe cînd în schema 3*a* orice defect pe oricare din cele cinci linii care se află pe aceeași bretea cu un generator, însoțit de refuzul întrerupătorului median are consecință deco-

* Intensitatea de avariere λ_l este luată pentru numărul total de defecte, inclusiv cele eliminate cu RAR reușit.

nectarea grupului respectiv, în schema 3*b* asemenea evenimente nu se pot produce.

Totodată, se observă că în schema 3*b*, la defect pe linie trebuie să acționeze un singur întrerupător, în loc de două în schema 3*a*, ceea ce reduce considerabil riscul neizolării corecte a scurt-



a)

b)

Fig. 3.

circuitelor pe linii. Această situație de neizolare corectă conduce la funcționarea mai frecventă a DRRI, cu toate consecințele potențial negative menționate anterior. Totodată, datorită faptului că întrerupătoarele mediane de pe bretelele de linie și transformatoare sînt deschise în regim normal de funcționare, se simplifică considerabil principiile și chiar schemele de protecție, blocaj și automatizare. În varianta 3 *b* întrerupătorul median se închide numai în cazul reviziilor sau indisponibilității unuia din cele două întrerupătoare de pe breteaua respectivă.

Evident că, în cazul în care exploatarea ar prefera funcționarea cu aceste întrerupătoare închise, ca în varianta 3*a*, avantajul reducerii deconectării grupurilor rămîne același în schimb rămîne riscul ca în cazul defectării (refuz) întrerupătoarelor mediane să se piardă concomitent două linii, ceea ce nu se întîmplă cu întrerupătorul median deschis.

* * *

Lucrarea are ca scop scoaterea în evidență a unor aspecte privind influența considerabilă a calității întrerupătoarelor (în special sub aspectul siguranței funcționării la scurtcircuit) asupra funcționării schemelor stațiilor de evacuare de putere din marile centrale electrice. În acest sens, ca un criteriu de bază se consideră riscul expunerii grupurilor din aceste centrale la defecte selectate cu întîrziere.

Din cele prezentate rezultă o influență deosebit de mare a performanțelor întrerupătoarelor asupra numărului de evenimente considerate potențial periculoase pentru centrală (vezi fig. 2).

Totodată, din analiza efectuată rezultă că, din punctul de vedere considerat, influențele variază în sens crescător de la schema cu barele secționate la cea cu bare continue. Evident că trebuie avut în vedere că acesta nu poate fi unicul criteriu de alegere a schemei de exploatare, ci trebuie că se țină seama și de alte considerente, cum ar fi, de exemplu, condițiile de stabilitate dinamică, care pot fi diferite în funcție de configurația schemei [1].

Din analiza efectuată asupra unei subvariante a schemei cu 1,5 întrerupătoare, care necesită un număr de 27 întrerupătoare față de 25 în soluția clasică, a rezultat un avantaj considerabil al variantei din figura 3 *b*, în special sub aspectul reducerii riscului deconectării unui grup de mare putere, care este cu atît mai evident, cu cît incertitudinea asupra unor performanțe corespunzătoare ale întrerupătoarelor este mai mare. Dacă însă întrerupătoarele prezintă fiabilitate ridicată, performanțele celor două scheme 3*a* și 3 *b* devin sensibil egale.

Bibliografie

[1] Stein, M., Moraite, G., Bărbulescu, C. *Unele aspecte privind condițiile de racordare la sistem a unor generatoare de mare putere.* In: Energetica, 36, nr. 1, 1989, p. 13.

(Primit la 10 mai 1989, acceptat la 4 decembrie 1989)

Motto:

„Extrapolînd interconexiunile internaționale putem spune că sîntem în pragul apariției unor sisteme electroenergetice continentale"

[acad. Paul Dimo]

Legăturile în curent continuu. Comparația tehnico-economică cu sistemele de transport în curent alternativ

Dr. ing. MIRCEA EREMIA*

Descriptori: transport în curent continuu

În lucrare se prezintă comparativ soluțiile de transport prin legături în curent continuu ca o alternativă sigură și economică în transportul energiei electrice la mare distanță, iar soluțiile de tip back-to-back ca unică posibilitate tehnică pentru interconexiuni asincrone sau funcționare la frecvență variabilă.

The paper contains a comparison of the transmission solutions by direct current links as a safe and economic alternative in long-distance electricity transmission as well as back-to-back substations as unique technical possibility for synchronous interconnections or variable frequency operation.

Generalități

Astăzi, sistemul de transport în curent continuu **) — CCIT — constituie un mijloc suplimentar important alături de transportul în curent alternativ. Avantajele tehnice și economice ce le oferă în găsirea unor soluții îl face să fie utilizat tot mai frecvent în practica transportului energiei electrice [10]. De la introducerea transportului în CCIT în urmă cu 40 de ani, numeroase studii au fost realizate în vederea comparării variantelor de transport în CA și în CC. Inițial, CCIT a fost folosit numai în cazurile unde nu a fost posibil transportul în CA , adică, în cadrul unor legături lungi submarine, interconexiuni între sisteme electroenergetice avînd frecvențe diferite etc. [1].

O comparație tehnico-economică între soluțiile de transport al energiei electrice în CC sau în CA este greu de făcut, datorită complexității și multitudinii factorilor care intervin. La alegerea unei soluții trebuie să se țină seama de toți parametrii care influențează costurile, și anume : puterea transmisă, mărimea pierderilor de putere și energie, siguranța în funcționare, nivelul de tensiune, structura conductorului de fază, spațiul afectat instalațiilor, perturbațiilor radio și TV, alte efecte electrice etc.

Pentru transportul la mare distanță, fie prin LEA, fie prin cablu submarin s-a stabilit un indicator de eficiență sau „punct de echilibru" o așa-zisă distanță limită de la care curentul continuu este mai avantajos din punct de vedere economic. Dintr-un studiu publicat în 1985 de către Comisia Economică ONU pentru Europa reiese că oportunitatea construcției unei linii în CC apare pentru lungimi ce depășesc o distanță de echilibru (tabelul 1).

Tabelul 1

Conform studiilor	Linii aeriene [km]	Linii în cablu [km]
CIGRE (1968)	600—1000	55—80
Chicago (1976)	—	55—60
EDF (1982)	800	50
Nordel (1983)	600—900	60
Suedia (1984)	700—900	
CIGRE (1987)	700—800	

Legăturile de tip „back-to-back" între sistemele funcționînd asincron prin stații de conversie alternativ-continuu și continuu-alternativ legate „spate-în-spate", distanța de echilibru în acest caz fiind egală cu zero, constituie în prezent aplicații curente.

Noile progrese tehnologice obținute în domeniul electronicii de putere, al transmisiei semnalelor prin fibre optice, al dezvoltării microprocesoarelor și altele au avut un impact important în ultimii ani asupra transportului energiei electrice, influențînd favorabil utilizarea instalațiilor de CCIT.

* Dr. ing. Mircea Eremia — Facultatea de Energetică, Institutul Politehnic, București

** Deși s-a generalizat noțiunea de transport al energiei electrice în curent continuu (C.C.), mai corect ar fi să se folosească termenul — transportul la tensiune continuă.

În prezent trecerea în CC a unor linii aeriene sau în cablu, existente,constituie o opțiune posibilă pentru creșterea capacității de transport, cu cheltuieli relativ reduse — cu pondere mare în noile stații de conversie — și termene de realizare relativ scurte. Dacă se funcționează la limita curentului termic capacitatea de transport a acestor linii va crește de trei sau mai multe ori.

1. Aspecte economice

Dezvoltarea legăturilor de transport sau interconexiune în CC este în strînsă legătură cu costul echipamentelor, în special al celor din stațiile de conversie terminale. Costul stațiilor de conversie crește cu tensiunea, iar al liniilor de transport crește atît cu tensiunea, cît și cu secțiunea conductorului.

În timp ce pentru o legătură în CA costul liniei are ponderea cea mai mare, în comparație cu al stațiilor terminale, pentru o legătură în CC costul stațiilor terminale este dominant.

Se consideră cazul de referință al unei stații de conversie avînd caracteristicile 500 MW, 1000 A, ±250 kV (cu 12 pulsuri pe pol), conectată prin două linii de 230 kV la un sistem de CA. În figura 1 este dată dependența costurilor — exprimate în dolari/kW — pentru această stație de conversie, în funcție de puterea nominală a sistemului [4]. Cu cît puterea de scurtcircuit a sistemului de CA la care este conectată stația este mai mare cu atît investițiile privind compensarea puterii reactive sînt mai reduse.

Informațiile din figura 1 se pot folosi și pentru evaluarea investițiilor în stațiile back-to-back cu unele considerente. În aceste aplicații

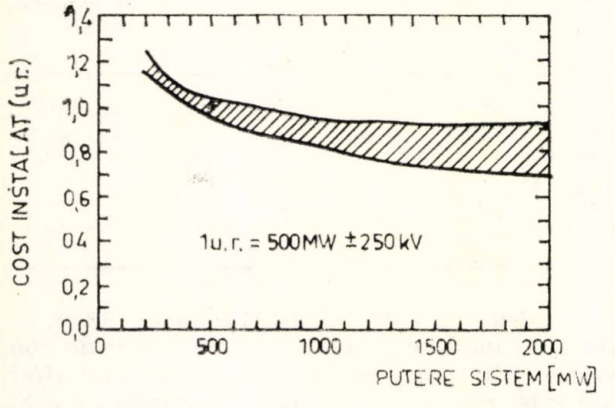


Fig. 1. Dependența costului stației de conversie de puterea sistemului [conf. CIGRE 1987].

este economic pentru o putere dată a se utiliza tiristoarele la capacitatea maximă în curent, caz în care tensiunea continuă a punții rezultă de valoare redusă. În plus, avînd în vedere necesitatea numai a unei singure clădiri pentru construcția stației, folosirea unor bobine de netezire mai mici și renunțarea la filtrul de armonice pe partea în CC, se obțin alte reduceri ale investițiilor, astfel că pentru evaluarea investiției la o stație back-to-back este suficientă aplicarea coeficientului de 0,8 asupra valorilor din figura 1.

Al doilea factor care afectează costul stațiilor de conversie este nivelul tensiunii continue și al tensiunii alternative — la care sînt conectate acestea. Pentru o putere nominală dată există o tensiune continuă care minimizează costul; întrucît costul stației crește cu nivelul de tensiune, optimul se obține pentru un curent mare la o tensiune redusă. Din figura 2 *a* se observă că la o creștere a tensiunii continue pe pol de la 250 kV la 500 kV, costul stației crește cu 20% pentru o putere nominală dată.

Pe de altă parte, din figura 2*b* se constată că pentru tensiuni alternativ mai mari decît

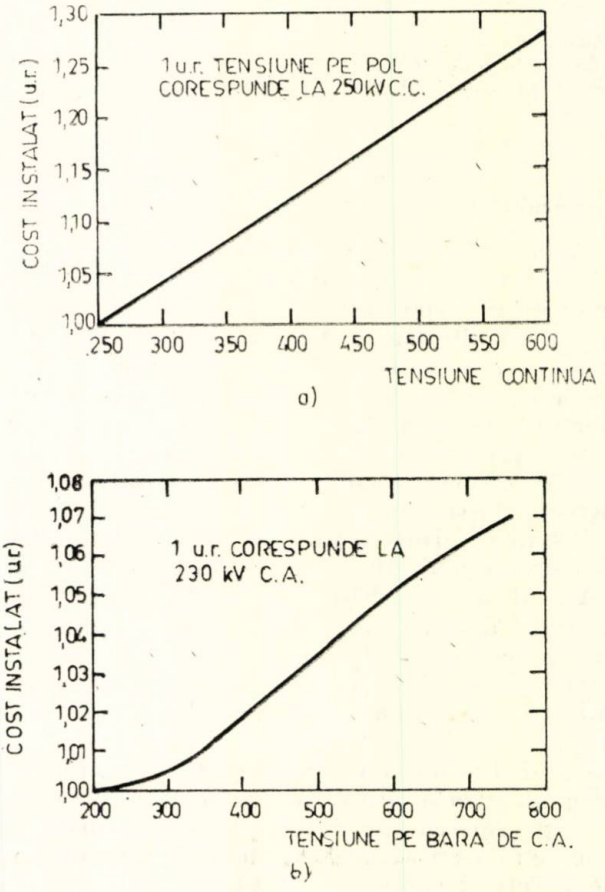


Fig. 2. Dependența investițiilor în stația de conversie în funcție de nivelul de tensiune: a — tensiune continuă pe pol; b — tensiune la bara de CA.

230 kV, costurile cresc în principal datorită filtrelor de armonice, echipamentelor de compensare a puterii reactive și transformatoarelor de alimentare.

Dacă se trece de la exprimarea în u.r. la dolari/kW instalat, pe baza unor estimări din

anul 1985, echivalarea este de 100 dolari/kW pentru ambele stații de conversie ale unei legături în CC.

În ceea ce privește costul unei linii aeriene bipolare de ±400 kV, în figura 3 este dată dependența în funcție de puterea transportată.

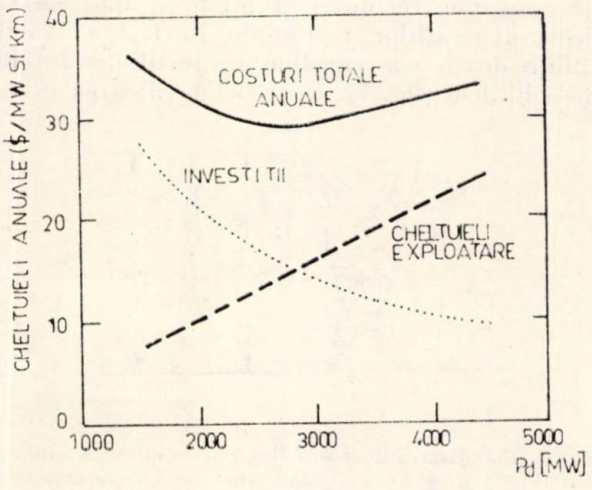


Fig. 3. Cheltuielile anuale pentru o linie aeriană de ±400 kV

Tabelul 2

Tip	Tensiunea	Puterea nominală [MVA]	Costuri	
			dolari 10^6/km	dolari MVA/km
Cablu tip conductă răcit cu ulei la presiune ridicată (HPOPT)	±600 kV	1000/pol	1,03	516
Cablu răcit cu ulei (SCOF)	±600 kV	1000/pol	1,58	789
Cablu cu izolație gazoasă (GITL)	±600 kV	3000/pol	4,09	680
	500 kV CA	2000	4,70	2350

Costurile pentru liniile aeriene în CC pot varia mult în funcție de zona în care urmează a fi construite, de condițiile mediului înconjurător, teren, amenajare șantier etc. Orientativ, pentru LEA în CC din Suedia prețurile pot varia de la 80000 dolari/km la ±200 kV la 150 000 dolari/km la ±600 kV [5] ; pentru LEA din nordul Statelor Unite se pot considera costuri de 200 000...225 000 dolari/km pentru tensiuni între ±400 kV și ±750 kV, în timp ce pentru LEA în CA costurile variază de la 500 000...600000 dolari/km pentru tensiuni între 230 și 765 kV [4].

În ceea ce privește costul cablurilor subterane în tabelul 2 se prezintă rezultatele studiului pentru un transport de energie electrică la o distanță de 50 km, folosind diferite tipuri constructive [4].

Pentru analiza unei soluții prezintă interes ponderea prețurilor diverselor echipamente componente ale unei stații de conversie terminale. În tabelul 3 se dă ponderea prețurilor diverselor echipamente și lucrări pentru stații de conversie complet echipate (inclusiv stația terminală în CA, filtrele de armonice, bateriile de condensatoare, transformatoarele, punțile de conversie, sistemele de comunicație și construcțiile civile).

Reducerea costului stațiilor de conversie terminale are la bază în principal reducerea costurilor modulelor cu tiristoare și a filtrelor de armonice pe partea de CA și CC, costurile pentru echipamentele convenționale — transformatoare de alimentare a punților, întrerupătoare în CA etc. — păstrîndu-se practic constante.

Tendința de evoluție a costurilor pentru stațiile de conversie terminale este prezentată în figura 4 [5].

Pierderile de putere activă în stațiile de conversie continuă să aibă o influență considerabilă asupra economicității legăturilor în CC (fig. 5). În timp, datorită dezvoltării tehnice,

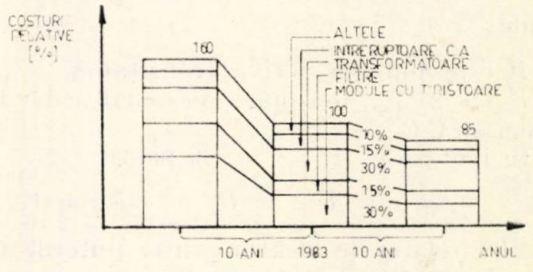


Fig. 4. Tendințe în evoluția costurilor pentru stațiile de conversie terminale.

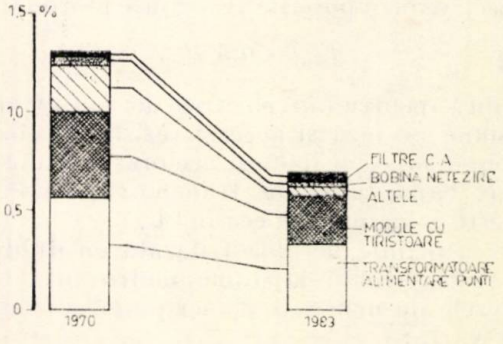


Fig. 5. Distribuția pierderilor de putere activă într-o stație de conversie [5].

pierderile medii de putere activă în stațiile de conversie au scăzut de la 1,3% (pentru proiecte din 1970) la circa 0,7% (pentru proiecte din 1985).

2. Transportul energiei electrice la mari distanțe prin linii electrice aeriene

În general, costul construcțiilor liniilor propriu-zise în curent alternativ, pentru una și aceeași putere transportată și pentru una și aceeași izolație a liniilor este mult mai ridicat decît în cazul curentului continuu.

În acest sens, se efectuează calculul pierderilor specifice în conductoarele unor linii electrice aeriene :

— în cazul liniilor trifazate

$$\varepsilon_{p,a} = \frac{rP_a}{U_{ra}^2 \cos^2 \varphi},$$

unde :

r este rezistența electrică a unui conductor de fază ;

P_a — puterea activă trifazată ;

$U_{ra} = \sqrt{3}/\sqrt{2}U_{f,a}$ — tensiunea cea mai ridicată a liniei în CA ;

$U_{f,a}$ — tensiunea de fază ca valoare de vîrf.

— în cazul unei linii monopolară în CC :

$$\varepsilon_{p,c} = \frac{2r\,P_c}{U_{rc}^2},$$

unde :

P_c este puterea activă tranzitată ;

$U_{rc} = 2U_{f,c}$, tensiunea cea mai ridicată a liniei în C C.

În ipoteza că $\varepsilon_{p,a} = \varepsilon_{p,c}$ și pentru :

$$r_a = r_c ; \quad U_{f,a} = U_{f,c} ; \quad \cos\varphi = 1,$$

rezultă relația de legătură între puterile tranzitate pe liniile de CA și CC :

$$P_a = \frac{3}{4} P_c,$$

respectiv între puterile tranzitate proconductor

$$P_{ca} = 0{,}5\ P_{oc}.$$

Adică, pentru linii electrice aeriene cu aceeași tensiune pe fază și aceeași rezistență electrică proconductor, în ipoteza acelorași pierderi specifice, capacitatea de transport pe o fază în CA este jumătate din cea în CC.

Dacă o linie aeriană trifazată cu dublu circuit este trecută la funcționarea în C C, în ipotezele de mai sus, atunci puterea transportată va fi :

$$P_{tot,c} = 6\ P_{oc} = 2\ P_{tot,a}.$$

Pentru cazul păstrării aceleiași tensiuni pe fază, tensiunea cea mai ridicată a liniei în CC are valoarea :

$$U_{rc} = 2U_{f,c} = 1{,}64\ U_{ra}.$$

Din cele de mai sus rezultă că pentru una și aceeași tensiune nominală liniile în CC conduc la investiții mai mici, respectiv la construcții mult mai ușoare decît cele în CA : mai puține conductoare și izolatoare, iar stîlpii pentru aceeași tensiune nominală a liniei vor fi mai ușori (fig. 6). În schimb costul stațiilor de conversie terminale fiind mult mai ridicat decît al stațiilor terminale în C A costurile totale devin comparabile în jurul distanțelor de echilibru (fig. 7). În prezent valoarea investiților la LEA pentru puteri mai mari de 100 MW și la distanțe de transport de 500—800 km sînt de același ordin pentru sistemele în CC și CA. Legăturile în CC vor fi mai eficiente pe măsură ce crește distanța de transport.

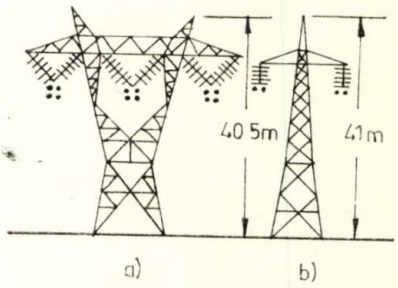


Fig. 6. Compararea dimensiunilor unor stîlpi pentru linii de 800 kV, CA și ± 500 kV, CC, avînd aceeași capacitate de transport (2000 MW).

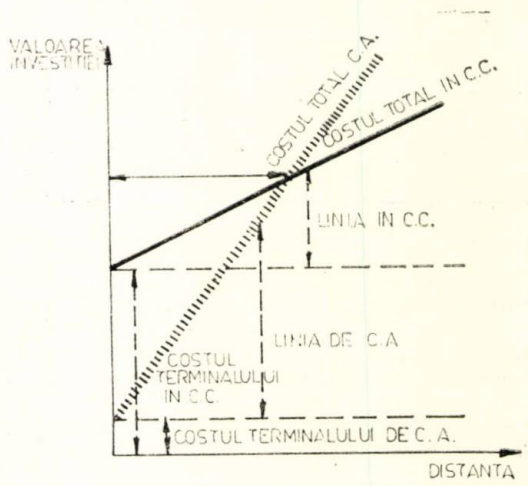


Fig. 7. Investițiile totale pentru LEA în CA și a legăturii în CC de transport pentru linii în CA și în funcție de distanța de transport.

Liniile în CC au o mai mare capacitate de transport pentru același culoar ocupat (fig. 8).

O comparație între capacitățile de transport ale unor linii în CA și în CC, bazată pe considerente tehnico-economice este dată în tabelul 4.

În figura 9 se prezintă soluția de modificare a unei linii trifazate simplu circuit într-o configurație de linie bipolară în C C [4].

În prima variantă, faza centrală este folosită drept conductor permanent de întoarcere (vezi fig. 9 *a*). O modificare interesantă, care permite dublarea limitei termice a capacității

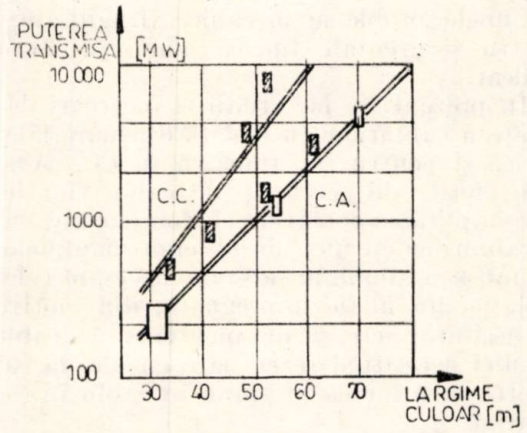


Fig. 8. Compararea puterii transportate în funcție de lărgimea culoarelor pentru LEA.

Tabelul 3

Echipament	Procentul din costul total
Transformatoare de alimentare a convertoarelor	20—25%
Module cu tiristoare (incluzînd sistemul de control și sistemul de răcire)	20—30%
Filtre și baterii de condensatoare și/sau compensatoare de putere reactivă	5—20%
Sisteme de comunicație, bobine de netezire, protecții etc.	5—15%
Studii de sistem, proiectare	2—5%
Construcție	15—30%

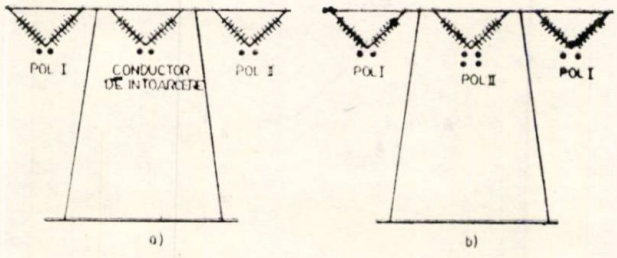


Fig. 9. Soluții posibile de trecere a unui stîlp portal simplu circuit din CA în CC

de transport, constă în folosirea unui număr dublu de subconductoare la faza centrală — care constituie polul II, în timp ce fazele laterale funcționînd în paralel — constituie polul I.

3. Transportul energiei electrice prin cabluri submarine

În general transportul energiei prin cabluri, fie în CA, fie în CC s-a utilizat pentru următoarele aplicații : legături submarine ; legături între sisteme electroenergetice separate, legătura în CC permițînd un control independent al sistemelor ; întărirea sistemelor în CA existente ; ieșirile din marile centrale termice sau nuclearoelectrice ; pătrunderea în zone urbane, adică înlocuirea liniilor aeriene pentru transportul energiei spre stațiile și posturile de transformare situate în interiorul orașelor. Utilizarea cablurilor subterane este impusă și de impactul crescînd al instalațiilor electroenergetice asupra mediului înconjurător, datorită industrializării și urbanizării excesive.

Tabelul 4

Încărcarea economică la o linie în CA		Linie echivalentă în C C			
		Cu același nivel de izolație		Cu aceleași culoare	
kV	MW	kV	MW	kV	MW
230	240	±200	400	±300	900
345	580	±300	900	±500	2500
500	1280	±400	1600	±700	4500
765	2700	±600	3600	±1000	8000

Realizarea unor legături prin cabluri submarine este întîlnită din ce în ce mai frecvent. Statistici publicate de CIGRE arată că pînă în 1980 lungimea totală a cablurilor submarine instalate a fost de 3610 km (97% fiind pozate în mare și 3% în lacuri sau rîuri), dintre care 1100 km funcționează în CC [4].

Ca exemple de instalații submarine de mică putere se prezintă legătura Gotland II de 100 km cu 130 MW, în CC, și legătura Aland (insula Aland-Suedia), de 55 km cu 40 MW, în CA. Pentru instalații de mare putere se menționează legătura Vancouver III de (30+8) km cu 2400 MW, în CA și legătura Cross-Channel II de 45 km (+25 km cablu subteran) cu 2000 MW, în CC. Aceste legături dau limita aproximativă de alegere între CC sau CA.

Pentru legături submarine mai lungi au fost luate în considerare numai legături în CC : Sardinia — Corsica — Italia : (SACOI) — 120 km, Skagerrak — 125 km și în studiu Sarawak-Malaysia — 650 km, cu 1500 MW.

Experiența transportului în cablu subteran în CC este limitată, numai o singură legătură de 80 km cu 640 MW fiind în funcțiune.

Comportarea cablurilor în CA și CC este foarte diferită, în particular distribuția potențialului este diferită atît în regim permanent, cît și în regim tranzitoriu. Pierderile electrice și în dielectric, precum și numărul de cabluri pe circuit sînt, de asemenea, diferite.

Pierderile electrice în cablurile subterane în CC rezultă mai mici decît cele în cabluri de CA, pentru că pierderile în dielectric sînt mai

reduse și nu există efectele de skin și de proximitate. În consecință pentru aceeași secțiune, încărcarea este mai mare la cablurile în CC decît la cele în CA. De exmplu, un cablu în CA de 220 kV, răcit cu ulei la presiune ridicată are o capacitate de 450 MVA. Un cablu în CC de 600 kV avînd o izolație asemănătoare va avea o capacitate de circa 1000 MVA, cînd este pozat în aceleași condiții [4].

La cablurile cu tensiune alternativa avînd lungimi mari de transport rezultă curenți capacitivi importanți, care trebuie compensați transversal. Avînd în vedere imposibilitatea, în cazul lungilor traversări submarine, a realizării practice a compensării acestei puteri, în asemenea situații se evită folosirea cablurilor în CA.

În general, cablurile în CA sînt economice pe distanțe scurte (vezi tabelul 1).Pentru distanțe lungi, pentru care CCIT este mai economică sau/și singura soluție posibilă din punct de vedere tehnic, se pot utiliza cablurile izolate cu hîrtie impregnată cu masă solidă (cu tensiuni pînă la 350 kV).

Costul cablului de tensiune continuă, la aceeași tensiune nominală, este mult mai redus decît al cablului de tensiune alternativă. Aceasta se datorează faptului că la tensiune continuă solicitarea electrică în materialul izolant (E_{med}) poate fi mult mai mare (de circa 10 ori) decît la tensiune alternativă, avînd în vedere că la tensiune continuă nu apar în cablu fenomene de îmbătrînire datorate descărcărilor parțiale și arborescente.

În ceea ce privește tipurile de cabluri (figura 10) cele răcite cu ulei pot fi întrebuințate

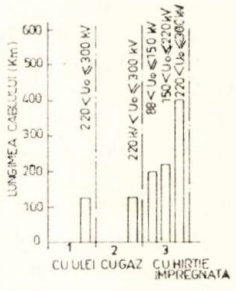


Fig. 10. Clasificarea cablurilor în CC instalate pînă în anul 1980 în funcție de tipul constructiv și nivelul de tensiune.

la cele mai înalte niveluri de tensiune, fie alternativă, fie continuă, dar cu unele limite ale lungimii cablului; cablurile impregnate cu material vîscos pot fi întrebuințate în CC la lungimi oricît de mari, în timp ce cablurile preimpregnante cu gaz sub presiune au proprietăți intermediare. Cablurile cu izolație extrudată și cele cu izolație gazoasă sînt întrebuințate în mod curent în CA, fiind în curs de asimilare și pentru CC.

Cablurile izolate cu hîrtie cu ulei sub presiune au fost utilizate pentru prima dată la legătura Kingsnorth (Londra), în 1973; de atunci au cunoscut o dezvoltare intensă. Cu un astfel de cablu se pot tranzita 1000 MW la tensiunea de 500 kV. Inconvenientele sînt legate de unele probleme mecanice (fragilitate, diametru și greutate lineică mari) și de costul ridicat.

În prezent, se fac studii și încercări de utilizare a cablurilor cu izolație din materiale sintetice și pentru funcționarea în CC. Avantajele oferite de acest tip de cablu sînt legate de simplitatea construcției, comparativ cu cea a cablurilor cu ulei, de absența mantalelor de plumb sau aluminiu (absolut necesare celor cu izolație din hîrtie impregnată, din motive de etanșeitate), cît și de mentenanță (cablurile cu ulei necesitînd rezervoare cu ulei la capete pentru menținerea presiunii în cablu în caz de avarie).

Ca și la liniile electrice aeriene, alegerea între soluția de transport prin cablu în CA sau în CC depinde, în principal, de lungimea și puterea totală transmisă. Transportul energiei în CC este soluția ce se alege pentru lungimi și puteri mai mari (fig. 11) [4].

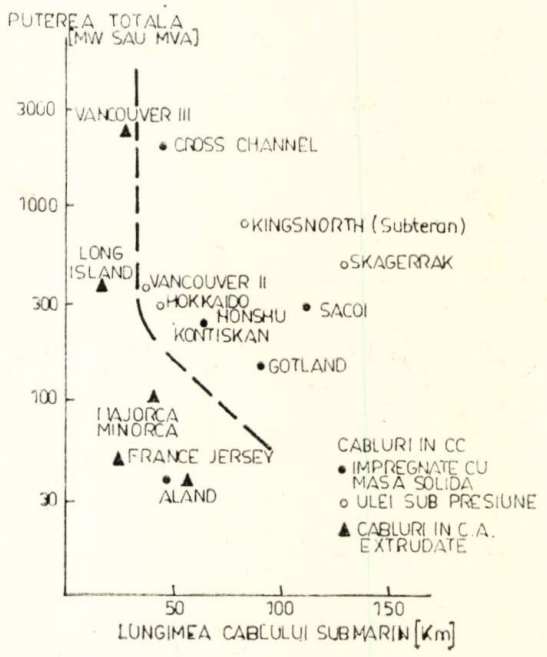


Fig. 11. Puterea tranzitată în funcție de lungimea legăturii pentru legături în cabluri în CA și CC.

4. Interconectarea sistemelor electrice de curent alternativ prin legături în curent continuu

Interconexiunile între sistemele energetice vecine sînt justificate atît de economiile de investiții obținute prin folosirea în comun a tuturor mijloacelor de producere a energiei și, deci, evitarea situațiilor de deficit într-unul din

sisteme, cît și de posibilitatea schimburilor de energie între parteneri, ținînd cont de nesimultaneitatea orelor de vîrf și de natură — termo, hidro sau nucleară — a centralelor de producere a energiei electrice din fiecare țară.

Economia de cost obținută prin interconectare poate fi un multiplu al costurilor liniei în CC.

În prezent, dimensiunea celor mai mari sisteme electroenergetice care funcționează sincron, în Europa, America de Nord sau U.R.S.S., atinge cîteva sute de GW și nu există nici un studiu care să recomande limitarea extinderii acestora. Cu cît puterea instalată într-un sistem este mai mică, cu atît există interes pentru a fi puternic interconectat. În timp ce unele țări, din motive geografice, nu se pot interconecta decît cu una sau două țări, există sisteme electroenergetice care au mai multe posibilități. Dacă pentru Marea Britanie singurele interconexiuni posibile sînt prin cabluri submarine și în CC (avînd în vedere distanțele de transport), pentru Elveția există numeroase posibilități de interconexiune prin linii aeriene în CA.

O mare extindere au căpătat legăturile de tip asincron în CC, între două sisteme electroenergetice care funcționează la aceeași frecvență nominală (50 sau 60 Hz), dar fără controlul coordonat al frecvenței, sau care au frecvențe diferite (50 și 60 Hz). Se menționează cîteva din elementele care au stat la realizarea unor astfel de interconexiuni:

— ameliorarea stabilității statice și dinamice (interconexiunea U.R.S.S. — Finlanda, Pacific — Intertie ș.a.);

— limitarea creșterii curenților de scurtcircuit (Kingsnorth);

— controlul schimburilor de putere pe interconexiune (Nelson River, Duernrohr, Eel River ș.a.);

— lipsa sincronismului între sistemele electroenergetice în CA interconectate (NORDEL-UNIPEDE, Canada—SUA ș.a.).

În vederea aprecierii modului de control al circulației de putere între sistemele interconectate, precum și a aspectelor legate de stabilitatea legăturii se consideră cazul interconexiunii în CA și în CC.

Se observă că pentru linia în CA (fig. 12 *a*) care constituie o legătură sincronă între două sisteme, problema menținerii stabilității este o condiție importantă; îmbunătățirea acesteia se poate obține prin micșorarea reactanței liniei (X_L). Pe de altă parte, linia în CC fiind o legătură asincronă între cele două sisteme de CA nu pune probleme legate de menținerea stabilității. Din contră, prin controlul rapid al circulației de putere pe linia în CC poate contribui la îmbunătățirea stabilității în special cînd linia funcționează în paralel cu linii în CA (fig. 13).

Circulația de putere pe liniile în CA este influențată în special de nivelurile și defazajele tensiunii de la capete (fig. 12 *a*), în timp ce pe o linie în CC este determinată de tensiunea continuă, care se reglează cu ușurință și rapiditate, acționîndu-se asupra unghiului α(de intrare în conducție a tiristoarelor).

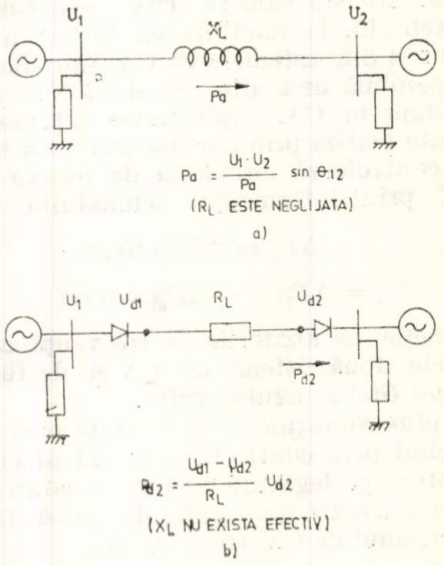


Fig. 12. Circulația puterilor pe legături în CA și în CC.

În continuare se prezintă cîteva considerații privind legăturile în CC cu rol de componente ale unui sistem electroenergetic.

• Modificarea rapidă sau chiar schimbarea sensului puterii active pe o legătură în CC, dacă o cer condițiile de funcționare a sistemelor de CA. Caracterisica legăturilor în CC de a transmite putere independent de frecvența și tensiunea sistemelor de CA, le face în anumite cazuri unica soluție de interconexiune.

• Controlul circulației de putere prin liniile în CA care funcționează în paralel cu o legătură în CC, în cadrul unor rețele buclate. În aceste cazuri legătura în CC poate limita extinderea efectelor avariilor ce apar în oricare din sistemele interconectate. Prin utilizarea unui sistem de reglaj corespunzător, se poate

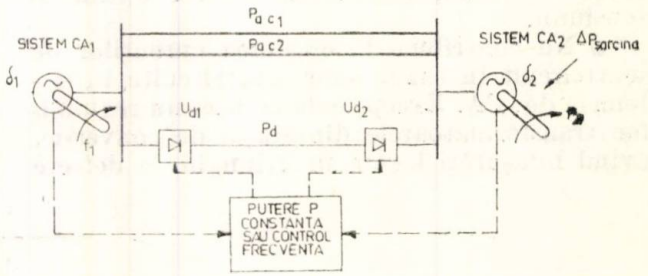


Fig. 13. Stabilizarea unei interconexiuni în CA printr-o legătură în CC.

regla circulația pe legătura în CC pe durata incidentelor, astfel încît să se îmbunătățească stabilitatea sistemului în CA și să se reducă riscul supraîncărcării liniilor de interconexiune în CA. În asemenea legături mixte CA — CC pentru ca interconexiunea să rămînă stabilă, este important ca diferența între unghiurile interne $\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2$ ale celor două sisteme de CA să nu depășească o valoare limită critică. Această valoare critică se poate atinge, de exemplu, la modificarea bruscă a sarcinii într-unul din sistemele de CA sau cînd devine indisponibilă una din cele două linii de interconexiune în CA. Stabilizarea interconexiunii se poate realiza prin intermediul unui regulator care controlează circulația de putere pe linia în CC prin intermediul semnalului ΔP_0 [2]:

$$\Delta P_0 = \Delta F(s) \cdot G(s) =$$
$$= \Delta F_1(s) - \Delta F_2(s) \cdot G(s),$$

în funcție de abaterile de frecvență Δf_1 și Δf_2 din cele două sisteme de CA și de funcția de transfer $G(s)$ a regulatorului.

În plus condițiile de stabilitate se îmbunătățesc cînd prin controlul automat al circulației de putere pe legătura în CC se contracarează și amortizează oscilațiile de joasă frecvență din sistemul de CA (fig. 14) [5].

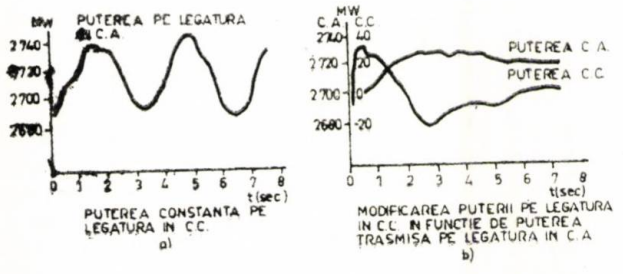


Fig. 14. Exemplu de amortizare a oscilațiilor în cazul sistemului mixt CA — CC Pacific Intertie.

● Îmbunătățirea condițiilor de stabilitate în sistemele de CA interconectate prin reglarea tensiunii în stația invertoare cînd legătura în C C este echipată cu controlul unghiului γ. În acest caz schimbul de putere reactivă între stația de conversie și sistemul de CA se realizează continuu, menținînd nivelul optim al tensiunii.

● Nu contribuie la creșterea curenților de scurtcircuit în cazul unor scurtcircuite în sistemele de CA. Excepție de la această regulă o fac transformatoarele din stația de conversie, avînd înfășurări legate în triunghi, la defecte cu punere la pămînt în sistemele de CA apropiate.

● Limitarea curenților de defect la niveluri tehnice și economice acceptabile în sisteme de C A mari și buclate, prin secționarea în subsisteme printr-o legătură în CC a unui sistem electroenergetic.

Concluzii

Dezvoltarea rapidă, atît ca număr cît și putere a instalațiilor de CCIT (52 GW instalați în 1992), se datorează în principal realizărilor tehnologice în construcția tiristoarelor de mare capacitate (4 kA, 5 kV), a fibrelor optice pentru transmisia semnalelor, a microprocesoarelor, precum și prin creșterea fiabilității echipamentelor (disponibilitate 92% în 1987). Acestea au determinat importante avantaje economice, dar în special tehnice : ameliorarea stabilității statice și dinamice în sistemele de CA, controlul rapid al circulației de putere pe interconexiuni, limitarea puterilor de scurtcircuit, amortizarea oscilațiilor de putere pe liniile de interconexiune, menținerea nivelului de tensiune în sistemele de CA ș.a.

Astăzi legăturile în CC constituie nu numai o alternativă sigură și economică în transportul energiei electrice, ci singura soluție tehnică pentru interconexiunile asincrone (de tip back-to-back) la care ar trebui să se înscrie și electroenergetica românească.

Bibliografie

[1] * * * *Perspectives d'utilisation du transport à courant continu*. Electricité de France, Clamart, 1968.

[2] * * * *Seminar on the HVDC techniques*. Belgrad, april 1981.

[3] * * * *Seminar on HVDC techniques*. Stockholm, may 1985.

[4] * * * *AC/DC Transmission — Interactions and comparisons*. CIGRÉ Symposium, Boston, september 1987.

[5] Smedsfelt, S., Hansson, B., Nuder, J. *Application guide for HVDC transmission*. Vattenfall, Suedia, 1985.

[6] Meslier, F., Persoz, H. *L'intérêt technico-économique des lignes à courant continu a t-il évolué depuis 15 ans?* Stockholm, may 1985.

[7] Eremia, M. *Transportul energiei electrice în curent continuu*. Litografia I. P. București, 1987.

[8] Laughton, M. A., Say, M. G. *Electrical Engineer's*. Reference Book. 14 th Edition, 1987.

[9] Dimo, P. *Sistemul energetic planetar*. Editura Academiei RSR, 1988.

[10] Arie, A. A., Pavel, E. *Transportul energiei electrice în curent continuu de înaltă tensiune. Situația actuală*. În: Energetica, nr. 1, ianuarie 1989.

[11] Schmidt, B. R. *Rapport spécial du groupe 21 (Câbles à haute tension)*. CIGRÉ 1986.

(Primit la 4 decembrie 1989, acceptat la 3 ianuarie 1990)

Regimul permanent al mașinii sincrone cu circuitele magnetice saturate

Prof. dr. ing. EUGEN POTOLEA*

Descriptori : mașini sincrone

Se demonstrează un model matematic original, care permite simularea regimului permanent al mașinii sincrone cu circuitele magnetice saturate. Rezultatele obținute în confruntarea teoriei cu experiența dovedesc corectitudinea modelului matematic și eficiența algoritmului de calcul.

An original mathematical model is demonstrate which enables the permanent regime simulation of the saturated magnetic circuits synchronous machine. Results obtained by comparing theory and experience prove the correctness of the mathematical model and the efficiency of the calculation algorythm.

Introducere

Studiul regimului permanent al mașinii sincrone cu circuitele magnetice saturate formează tema multor lucrări de specialitate. S-au propus diferite modele matematice și aproximații empirice, dar problema a rămas nerezolvată, așa cum rezultă și din raportul comitetului nr. 32 CIGRE din anul 1976 [1].

Insuccesul cercetătorilor în calculul regimului saturat a creat impresia că modelul matematic al mașinii ideale din teoria circuitelor d, q nu permite descrierea suficient de exactă a stării interne de magnetizare. S-a încercat utilizarea teoriei cîmpului electromagnetic la calculul regimului saturat. Nu s-au obținut rezultate convingătoare, în schimb s-au complicat modelele și algoritmele. Această cale de abordare a problemei nu prezintă interes în studiul sistemelor electroenergetice, care conțin un mare număr de mașini sincrone, interconectate prin rețele electrice complexe.

În analiza și sinteza sistemelor electroenergetice nu se poate renunța la modelarea elementelor componente cu ajutorul teoriei circuitelor electrice, chiar dacă se dispune de calculatoarele cele mai perfecționate.

În lucrare se studiază regimul saturat cu ajutorul unui model matematic din teoria circuitelor d, q, care include ipoteza izotropiei magnetice a mașinii sincrone în regim saturat. Rezultatele obținute în confruntarea teoriei cu experiența dovedesc corectitudinea modelului și eficiența algoritmului de calcul propus.

1. Modelul matematic al mașinii ideale

Se consideră mașina sincronă cu trei circuite statorice a, b, c și cu trei circuite rotorice E, D, Q. Folosind transformarea lui Blondel se înlocuiesc circuitele statorice a, b, c cu două circuite rotitoare, d, q, pentru care se scriu ecuațiile de regim staționar

$$U_d + RI_d - X_q I_q = 0, \qquad (1)$$
$$U_q + RI_q + X_d I_d = E_q$$

Variabilele de stare U_d, I_d și U_q, I_q de la bornele circuitelor d, q se exprimă în funcție de variabilele de stare U, P, Q de la bornele circuitelor statorice :

$$U_d = U \sin \delta\,; \quad I_d = \frac{1}{U}(P \sin \delta + Q \cos \delta), \qquad (2)$$
$$U_q = U \cos \delta\,; \quad I_q = \frac{1}{U}(P \cos \delta - Q \sin \delta),$$

unde : U este tensiunea efectivă de linie (între-faze) ;
P — puterea activă trifazată ;
Q — puterea reactivă trifazată ;
δ — unghiul electric intern.

Relațiile (2) se introduc în prima ecuație (1) și se obține :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{X_q P - RQ}{X_q Q + RP + U^2}. \qquad (3)$$

Cu relațiile (3) și (2), (1) se calculează variabilele interne δ și E_q în funcție de variabilele de stare la borne U, P, Q.

Reactanțele X_d, X_q ale circuitelor d, q, spre deosebire de parametrii circuitelor a, b, c, sînt independente de unghiul variabil $\theta = \omega t + \theta_0$ dintre axele circuitelor a și d. În aceste condiții variabilele de stare ale circuitelor statorice sînt sinusoidale și se spune că mașina este ideală.

* Prof. dr. ing. Eugen Potolea — Institutul Politehnic București.

2. Simularea saturației magnetice

Saturația circuitelor magnetice din axele d, q provoacă variația parametrilor X_d, X_q, E_q, care devin :

$$X_d^{sat} = X_{dp} + s_d X_{du}; \quad X_d = X_{dp} + X_{du}$$
$$X_q^{sat} = X_{qp} + s_q X_{qu}; \quad X_q = X_{qp} + X_{qu} \tag{4}$$

și

$$E_q^{sat} = X_{dE}^{sat} I_E; \quad X_{dE}^{sat} = s X_{dE}, \tag{5}$$

unde : X_{dp}, X_{qp} sînt reactanțe Potier ;
X_{du}, X_{qu} — reactanțe utile ;
s_d, s_q — coeficienți de saturație ;
X_{dE}, s — reactanța mutuală și coeficientul de saturație.

Parametrii nesaturați X_q, X_d, E_q din (1) se înlocuiesc cu parametrii saturați din (4), (5) :

$$U_d + RI_d - X_{qp} I_q = s_q X_{qu} I_q,$$
$$U_q + RI_q + X_{dp} I_d = s X_{dE} I_E - s_d X_{du} I_d, \tag{6}$$

sau :

$$U_p = s X_{dE} I_p \tag{7}$$

unde :

$$U_p = \sqrt{(U_d + RI_d - X_{qp} I_q)^2 + (U_q + RI_q + X_{sp} I_d)^2}, \tag{8}$$

$$I_p = \sqrt{\left(I_E - \frac{s_d}{s}\frac{X_{du}}{X_{dE}} I_d\right)^2 + \left(\frac{s_q}{s}\frac{X_{qu}}{X_{dE}} I_q\right)^2}$$

Variabilele interne U_p, I_p sînt coordonatele punctelor de pe caracteristica de magnetizare :

$$U_p = F(I_p) \tag{9}$$

Relațiile (2), (4), (5), (6), (7), (8), (9) formează modelul matematic al *mașinii ideale cu circuitele magnetice saturate*.

Conceptul mașinii ideale cu saturație magnetică pe axele d, q este o aproximație a realității, care poate fi acceptat numai după confruntarea rezultatelor teoretice cu cele experimentale.

Trecerea de la ecuațiile circuitelor a, b, c la ecuațiile circuitelor d, q implică teorema suprapunerii efectelor, care nu este valabilă în regim saturat. Numai neglijînd armonicele superioare ale variabilelor, mașina rămîne ideală, iar saturația circuitelor magnetice din axele d, q are efecte numai asupra amplitudinilor variabilelor statorice.

Se introduc ecuațiile (2) în (6) și ecuațiile (8) în (9). Se constată că modelul matematic (6), (9) este format din 3 ecuații, care conțin patru variabile interne δ, s, s_d, s_q, și patru variabile de stare la borne U, P, Q, I_E. Nu se pot calcula variabilele δ, s, s_d, s_q în funcție de U, P, Q, I_E dacă nu se completează modelul matematic.

Sînt două regimuri particulare care pot fi studiate cu ajutorul modelului matematic incomplet. În ambele regimuri $s = s_d$, iar s_q nu intervine în calcul.

Regimul de mers în gol $P = 0$, $Q = 0$, în care $\delta = 0$, $U_p = U$, $I_p = I_E$. Se măsoară U, I_E și se trasează caracteristica de mers în gol $U = F(I_E)$, care este identică cu caracteristica de saturație (9). Folosind partea liniară ($s = 1$) a caracteristicii de mers în gol se determină reactanța $X_{dE} = U/I_E$ și tensiunea U_0 la care începe saturația magnetică ($s < 1$).

Regimul particular $P = 0$, $Q \neq 0$, în care $\delta \simeq 0$ și

$$U_p = U + X_{dp}\frac{Q}{U}; \quad I_p = I_E - \frac{X_{du}}{X_{dE}} I_d. \tag{10}$$

Se măsoară U, Q, I_E și se determină reactanța X_{dp} după cum urmează. Se estimează valoarea inițială $X_{dp}^{(0)}$ și apoi se calculează U_p din (10), I_p din (9), X_{du} din (10) și $X_{dp} = X_d - X_{du}$. Ciclul de operații se repetă pînă cînd se verifică un test de convergență pentru X_{dp}.

3. Ipoteza izotropiei magnetice

Variabilele de stare internă δ, s, s_d, s_q satisfac numai trei restricții independente de egalitate (6), (9) și ca urmare sistemul fizic studiat are posibilitatea să treacă într-o stare preferențială. Inspirîndu-ne din principiile mecanicii analitice emitem ipoteza că starea preferențială este starea de izotropie magnetică pe axele d și q :

$$X_{dp} = X_{qp}; \quad s_d X_{du} = s_q X_{qu}. \tag{11}$$

Prima condiție de izotropie $X_{qp} = X_{dp}$ este acceptată, fără demonstrație, în toate lucrările de specialitate. A doua condiție de izotropie $s_d X_{du} = s_q X_{qu}$ se realizează numai dacă $s_d X_{du} < X_{qu}$, unde $X_{qu} < X_{du}$. Dacă $1 > s_d > X_{qu}/X_{du}$ atunci există saturație numai pe axa d și deci $s_q = 1$ și $s = s_d$.

Am verificat condițiile de izotropie (11) cu ajutorul rezultatelor experimentale (tabelul 1) ale exercițiului Northfleet [1].

Datele din tabelul 1 se completează cu caracteristica de magnetizare (fig. 1) și cu parametrii staționari, în unități relative (u.r.) :

$$X_d = 1{,}85 \text{ u.r.}; \quad X_q = 1{,}76 \text{ u.r.}$$
$$X_\sigma = 0{,}175 \text{ u.r.}; \quad R = 0{,}0014 \text{ u.r.}$$

Regimul nr. 7 din tabelul 1 este regimul nominal. Cu datele regimului nominal se calculează puterea aparentă nominală $S_n = 150$ MVA și reactanța nominală $X_n = U_n^2/S_n = 1{,}2696\ \Omega$.

Tabelul 1

Măsurători Northfleet, $\omega_n = 100\ \pi$ rad/s

R / V	1	2	3	4	5	6	7
P, MW	120,5	120,5	118,0	120,0	120,0	126,0	120
Q, Mvar	−10,4	−3,4	−21,3	−21,0	−51,9	−49,3	90
U, kV	13,95	13,9	13,86	13,86	13,80	13,62	13,80
I_E, A	650	680	610	620	550	590	1070
δ, grade	55	53	58	59	71	72	?

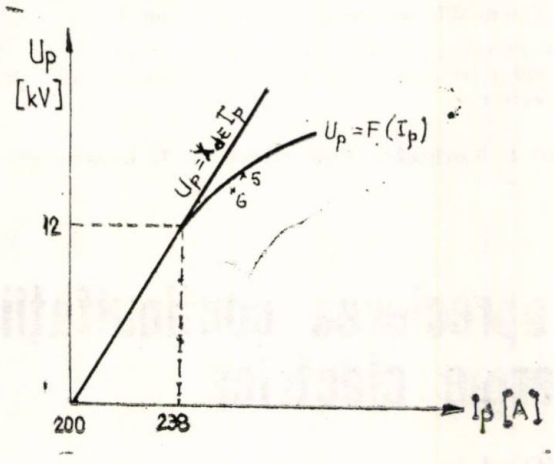


Fig. 1. Caracteristica de magnetizare.

Folosind caracteristica de magnetizare, se calculează $X_{dE} = 36{,}4\ \Omega$ și $X_{dE} = 28{,}67$ u.r.

Reactanța X_σ este „reactanța de dispersie a armăturii statorice", conform cu [1]. În lipsa reactanței Potier X_{dp} se admite aproximația $X_{dp} \simeq X_\sigma$ și deci $X_{dp} = X_{qp} = 0{,}175$ u.r.

Se efectuează două confruntări între rezultatele analitice și cele experimentale.

A. Verificarea unghiurilor δ. Se calculează unghiurile δ^{calc} în funcție de măsurătorile U, P, Q, I_E și se compară cu unghiurile măsurate $\delta_{măs}$ din tabelul 1.

Pasul 1. Se inițializează $s = 1$, $s_d = 1$, $s_q = 1$, se calculează δ cu relația (3) și se atribuie $\delta^0 = \delta$.

Pasul 2. Se calculează U_d, U_q, I_d, I_q și U_p din relațiile (2) și (8). Dacă $U_p < U_0$, regimul nu este saturat, altfel se calculează I_p, s, s_d din (9), (7), (6).

Pasul 3. Dacă $s_d > X_{qu}/X_{du}$ se trece la pasul 4, altfel se calculează s_q din (6).

Pasul 4. Se calculează δ și $\delta - \delta^0$. Dacă $|\delta - \delta^0| < \varepsilon$ se trece la pasul 5, altfel $\delta^0 = \delta$ și se trece la pasul 2.

Pasul 5. Se calculează eroarea procentuală $\varepsilon_1\% = 100\ (\delta^{măs} - \delta^{calc})/\delta^{măs}$ și se tipărește în tabelul 2.

B. Calculul caracteristicii de magnetizare. Cu măsurătorile P, Q, U, I_E, δ din primele 6 regimuri se calculează coordonatele U_p, I_p pentru 6 puncte ale curbei de magnetizare. Se calculează U_d, U_q, I_d, I_q din (2) și apoi: s_q din (6), s_d din (11), s din (6) și U_p, I_p din (8). Se reprezintă punctele U_p, I_p pe aceeași diagramă cu caracteristica de magnetizare (fig. 1). Se calculează $U_{pc} = F(I_p)$ și $\varepsilon_2\% = 100\ (U_p - U_{pc})/U_p$ din tabelul 2.

Analizind rezultatele din tabelul 2 se constată următoarele:

- erorile absolute $|\varepsilon_1\%|$ sînt în general sub 1%, cu excepția regimului 6 în care $\varepsilon_1\% = -1{,}37\%$;
- erorile absolute $|\varepsilon_2\%|$ sînt în general sub 1%, cu excepția regimurilor 5 și 6 în care $\varepsilon_2\% = 1{,}77 \sim 1{,}65$;
- punctele 5 și 6 din figura 1 se înscriu bine pe o caracteristică de magnetizare standard, în care $U_0 = 0{,}8\ U_n \simeq 11$ kV în loc de $U_0 = 12$ kV $\simeq 0{,}87\ U_n$ ca în cazul generatorului Northfleet;
- erorile din tabelul 2 pot fi considerate admisibile, dacă se ține seama și de faptul că axele diagramei $U = F(I_E)$, preluată din [1], nu sînt perfect perpendiculare.

Rezultate analitice

Tabelul 2

	1	2	3	4	5	6	7	
ε_1, %	1,03	−0,22	−0,15	0,78	−0,83	−1,37	31,91	δ, grade
ε_2, %	−0,75	0,12	0,09	−0,53	1,77	1,65	0,02	

Concluzii

Mașina sincronă cu circuitele magnetice saturate este aproximativ „ideală" în sensul că variabilele de stare la bornele circuitelor statorice sînt aproape sinusoidale. Conform ipotezei izotropiei magnetice, mașina sincronă în regim saturat tinde să se „autoperfecționeze" deoarece tinde către starea preferențială $X_d^{sat} = X_q^{sat}$.

Studiul regimului saturat cu ajutorul modelului matematic propus necesită parcurgerea a trei etape principale :

a) Trasarea caracteristicii de mers în gol $U = F(I_E)$ și determinarea parametrilor X_{dE}, U_0.

b) Determinarea reactanței Y_{dp} cu ajutorul măsurătorilor din unul sau mai multe regimuri $P = 0$, $Q > 0$. Algoritmul expus în paragraful 3 înlocuiește metoda Potier și poate fi aplicat fără neglijarea rezistenței R.

c) Se admite ipoteza izotropiei și se calculează variabilele interne δ, s, s_d, s_q în funcție de variabilele de stare la borne U, P, Q, I_E.

Ipoteza itzotropiei magnetice a mașinii sincrone în regim saturat este piatra de incercare a lucrării noastre. Rezultatele obținute în confruntarea teoriei cu practica confirmă această ipoteză, care așteaptă și o demonstrație teoretică.

Bibliografie

[1] Shackshaft, G. *Les paramètres des alternateurs pour les études de stabilité.* Rapport présenté au nom du Comité d'Etudes no 32, CIGRE, session 1976.

[2] Potolea, E. *Calculul regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice.* Editura Tehnică, 1977, București.

(Primit la 5 octombrie 1989, acceptat la 12 ianuarie 1990)

Modele probabilistice pentru aprecierea continuității în alimentarea cu energie electrică

Dr. ing. CORNELIU VELICESCU *

Descriptori : modele probabilistice, alimentare cu energie electrică

În această lucrare sînt discutate trei modele probabilistice pentru calculul energiei probabil generată.

Primul model folosește convoluția curbei de sarcină cu reprezentarea binară a ieșirilor din funcționarea a generatoarelor.

Modelul al doilea folosește conceptul momentelor statistice ale funcției densitate de probabilitate și a ieșirilor din funcționare, iar printr-o combinație a acestora se calculează energia produsă.

Dezvoltarea în serie Gram-Charlier este descrisă de ultimul model pentru obținerea funcției densitate de probabilitate a sarcinii echivalente, modelul combinat și cu conceptul momentelor și al cumulanților.

In this paper three probabilistic models for the calculation of expected energy generation have been discussed. The first model uses the concept of convolution the load demand curve with a binary representation of machine outage.

The second model useds the concept of statistical moments of load probabilistic density function and machine outages and by a combination of them, the energy production is calculated.

The Gram Charlier expansion to obtain the equivalent load probabilistic density function is described by the last model combinated with the concept of moments and cumulants

Introducere

Importanța economică a aprecierii cît mai realiste a indicatorilor conținuți în alimentarea cu energie electrică a impus extinderi matematice folosite în modele probabilistice unitare. Aceste modele probabilistice au ajuns să definească un capitol distinct al teoriei fiabilității în funcționare. Lucrarea își propune să evidențieze cîteva din aceste metode, folosindu-le comparativ pentru calculul timpului probabil de neacoperire a sarcinii și a energiei electrice probabil nelivrate. Tratarea matematică a acestor modele presupune cunoscute cunoștințele elementare din teoria funcțiilor de variabilă aleatoare.

1. Modele probabilistice

Problema pusă este de a determina dacă într-o zonă a sistemului electroenergetic puterea totală instalată într-un număr de generatoare de putere cunoscută și cu probabilitatea de bună funcționare apreciată poate satisface cerințele consumatorului, atît ca nivel de putere, cît și ca energie cerută. Față de aceste date, este clară impunerea folosirii modelelor probabilis

* Dr. ing. Corneliu Velicescu — Facultatea de Electrotehnică, Institutul Politehnic „Traian Vuia", Timișoara.

tice. În literatura de specialitate [1—4] modelele folosite au ca mărime de bază curba clasată a sarcinii echivalente, aceasta cuprinzînd pe lîngă sarcina propriu-zisă și puterea în deficit a generatorului defect. Această curbă, avînd un punct curent de abscisă egală cu probabilitatea de depășire a sarcinii echivalente corespunzătoare ordonatei, se va interpreta ca funcție de repartiție (FR) a VA putere electrică echivalentă. Considerarea posibilității de defectare a unui generator modifică FR a puterii echivalente, procedeul de obținere a acesteia din urmă numindu-se convoluția puterii generatorului cu curba puterii echivalente anterioare defectului. Metoda se aplică succesiv fiecărui generator.

1.1. Modelul probabilistic al convoluției generatoarelor cu curba consumului

Se consideră că puterea electrică echivalentă în deficit P poate apărea ca disjuncție a evenimentelor independente constînd din :

a) nivelul puterii consumate este P în condiția cînd generatorul vizat, de capacitate C_i, este în funcționare cu probabilitatea p ;

b) nivelul puterii consumate este $P - C_i$ și generatorul de capacitate C_i este defect cu probabilitatea q.

Sub forma funcției de repartiție, probabilitatea evenimentelor de mai sus se scrie sub forma (1), unde $F'(P)$ este

$$F'_i(P) = F(P)\cdot p + F(P - C_i)\cdot q, \text{ pentru } P - C_i > 0 \quad (1)$$

probabilitatea de a se realiza un consum de putere strict mai mare decît nivelul P după defectarea generatorului de capacitate C_i. Considerînd succesiv toate generatoarele, se obține convoluția acestora cu curba clasată a consumului propriu-zis, fiecărei convoluții corespunzîndu-i o curbă a puterii electrice echivalente (fig. 1)

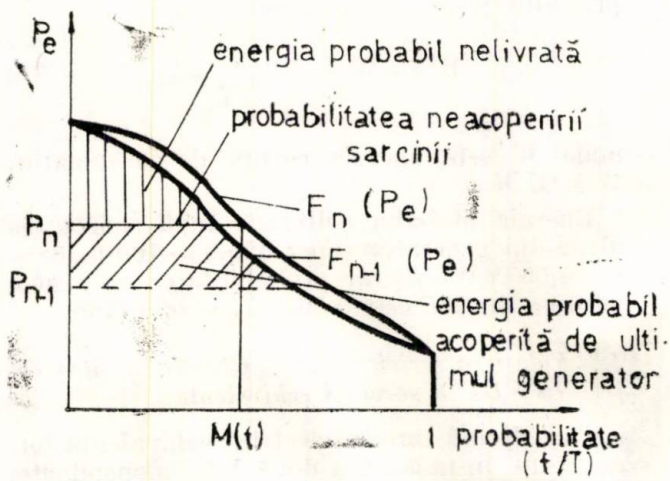


Fig. 1. Convoluția succesivă a generatoarelor cu curba de sarcină.

Energia nelivrată ΔW_n după conectarea generatorului n se va obține calculînd :

$$W_n = T\int_{P_n}^{\infty} F_{n-1}(P_e)\,dP_e. \quad (2)$$

Energia livrată probabil de cel de al doilea generator va fi :

$$W_n = T\int_{P_{n-1}}^{P_n} p\cdot F_{n-1}(P_e)dP_e. \quad (3)$$

În relațiile (2) și (3) :

P_n, respectiv P_{n-1}, reprezintă puterea totală a celor n, respectiv $n-1$, generatoare considerate a fi încărcate ;

p — probabilitatea de bună funcționare a generatorului n ;

$F_{n-1}(P_e)$ — FD a puterii echivalente P_e după încărcarea primelor $n-1$ generatoare.

Ordinea de încărcare a generatoarelor nu modifică valoarea finală a indicatorilor continuității în alimentare, ea se stabilește de regulă din considerente economice cu privire la prețul puterii produse. După convoluția ultimului generator n, din FD, notată $F_n(P_e)$, pentru ordonatele P_n se obține abscisa, care va corespunde probabilității $M(t)$ de neacoperire a sarcinii.

Tabelul 1

Valorile FD înainte și după convoluția cu generatorul de 300 MW

Nivel putere [MW]	Probabilitate	FD	Nivel de putere	Probabilitate	FD
75	6/24	18/24	75	0,23	0,76999
200	4/24	14/24	200	0,1533	0,6166559
275	4/24	10/24	275	0,1533	0,463325
300	3/24	7/24	300	0,115	0,348325
400	3,5/24	3,5/24	375	0,02	0,328325
500	2/24	1,5/24	400	0,13416	0,194165
575	0,5/24	1/24	500	0,09	0,1041659
600	1/24	0	575	0,0325	0,0716659
			600	0,04833	0,0233226
			700	0,01166	0,01166596
			800	0,00666	0,004993
			875	0,00166	0,00333
			900	0,00333	0,

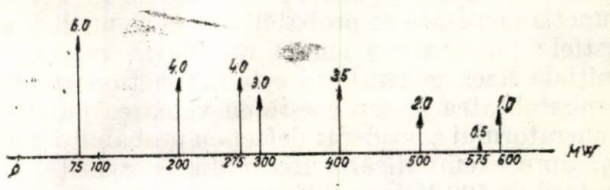


Fig. 2. Funcția densitate de probabilitate a sarcinilor orare (toate impulsurile vor fi divizate cu 24).

Metoda se exemplifică pentru un număr de patru generatoare, 1×300 MW cu $p_1 = 0{,}92$ și $q_1 = 0{,}08$, 2×100 MW cu $p_2 = 0{,}9$ și $q_2 = 0{,}1$ și 1×200 MW cu $p_3 = 0{,}94$, $q_3 = 0{,}06$ care alimentează un consumator ale cărui niveluri de putere și duratele lor sînt redate în figura 2.

Convoluția generatorului de 300 MW și cu $p_1 = 0{,}92$ cu FD a sarcinii propriu-zise dă o FD nouă, cu valorile date în tabelul 1.

Pentru $P < C_1 = 300$ MW valorile s-au calculat astfel:

$$F_1'(200) = F(200)\cdot p_1 = \sum_t P(P_i > 200)p_1 =$$

$$= \frac{1}{24}(4 + 3 + 3{,}5 + 2 + 0{,}5 + 1)\cdot 0{,}92 = 0{,}53666,$$

iar pentru $P > C_1 = 300$ MW, valorile sînt calculate cu relația (1), de exemplu $F_1'(375) =$

$$= F(375)\cdot p_1 + F(375-300)\cdot q_1 =$$

$$= (3{,}5 + 2 + 0{,}5 + 1)\cdot \frac{1}{24}\cdot 0{,}92 + (4 + 4 + 3 + 3{,}5 +$$

$$+ 2 + 0{,}5 + 1)\cdot \frac{1}{24}\cdot 0{,}08 = 0{,}32833.$$

Energia nelivrată după încărcarea acestui generator este:

$$\Delta W_1 = T\int_{300}^{\infty} F_1'(P_e)\,dP_e = 1615{,}49 \text{ MWh/zi}.$$

Repetînd calculele pentru încărcarea succesivă a tuturor generatoarelor s-au obținut rezultatele din tabelul 3.

Probabilitatea de neacoperire a sarcinii a rezultat de: $M(t) = 0{,}021178$.

1.2. Modelul momentelor statice

Forma curbei de sarcină exemplificată în figura 2 poate fi interpretată ca funcție densitate de probabilitate a sarcinii. În consecință, momentul brut de ordinul întîi M_1 va reprezenta tocmai energia electrică cerută de consumator.

În cazul în care se consideră încărcarea unui generator, de exemplu cel cu puterea de 300 MW, funcția densitate de probabilitate se va modifica astfel: puterea consumată rămîne la valoarea inițială dacă generatorul este în funcționare cu probabilitatea p_1 sau crește cu valoarea puterii generatorului considerat defect cu probabilitatea q_1. Spre exemplificare, frecvența de apariție a puterii de 500 MW se obține astfel: $\Delta t = 2\cdot p_1 + 4\cdot q_1 = 2{,}16$ h, unde 2 h este durata nivelului inițial de 200 MW, care va corespunde nivelului de 500 MW sarcină echivalentă cînd generatorul de 300 MW se defectează. Energia probabil nelivrată după încărcarea generatorului de 300 MW va fi:

$$\Delta W_1 = \sum_i (P_i - 300)\cdot \Delta t_i, \qquad (4)$$

unde:

P_i sînt valorile puterii sarcinii echivalente corespunzătoare figura 2;

Δt_i — durata acestui nivel de putere.

În aceste condiții se poate interpreta relația (4) ca momentul centrat de ordinul întîi al sarcinii echivalente.

Rezultă următorul algoritm de calcul:

— se delimitează blocuri de mărimi egale cuprinzînd momentele statistice ale sarcinii de ordinul zero și întîi;

— pentru a considera încărcarea unui generator se vor deplasa aceste blocuri spre dreapta, deplasarea fiind egală cu ΔP_g, mărimea puterii generatorului considerat. Momentele de ordinul zero M_0 se păstrează, iar noile valori ale momentelor de ordinul întîi M_1' se calculează astfel:

$$M_1' = M_1 + M_0\cdot \Delta P_g; \qquad (5)$$

— evidențierea stării de defect a generatorului în mărimea momentelor statistice se realizează prin adunarea pe verticală a momentelor corespunzătoare după înmulțirea cu p_1, respectiv q_1 a valorilor primei linii, respectiv a celei de-a doua linii a blocurilor anterior delimitate. Se obține astfel linia c din tabelul 2. Suma momentelor de ordinul întîi din linia c dă energia totală cerută, iar energia probabil livrată de primul generator este $\Delta P_{g1}\,\Sigma M_{01}'$.

Procedeul se repetă pentru toate generatoarele în discuție, situație exemplificată în tabelul 2.

Energia probabil nelivrată după încărcarea primului generator se calculează:

$$W_1 = W - \Delta P_{g1}\sum_i M_{0i}', \qquad (6)$$

unde W este energia cerută de consumator, $W = \Sigma\, M_{1i}$.

Energia probabil nelivrată după conectarea ultimului generator este: $429{,}95 - 700\cdot 0{,}508 = 74{,}35$ MWh/zi, iar probabilitatea de neacoperire a sarcinii este $0{,}508 : 24 = 0{,}021166$.

1.3. Folosirea seriei Gram — Charlier pentru obținerea FDP a sarcinii echivalente

Considerînd sarcina electrică echivalentă formată din însumarea a două VA independente, adică sarcina propriu-zisă și sarcina apărută prin defectarea generatoarelor, cumulanții sar-

Tabelul 2

Ilustrarea metodei momentelor statistice

6 450	4 800	7 2.10^3	3,5 $1,4.10^3$	2 10^3	1,5 887,5	0 0	M_0 M_1	axp
300 MW $\times 10^3$		6 2,25	4 2	7 4,1	3,5 3,45	3,5 2,9375		bxq
300 MW $\times 10^3$		3,7 1,838	2,16 1,08	1,94 1,1445	0,28 0,196	0,28 0,235		c
400 MW $\times 10^3$			3,7 1,838	2,16 1,296	1,94 1,3385	0,56 0,487		d
400 MW $\times 10^3$			2,31 1,1558	1,962 1,1596	0,446 0,31	0,308 0,26		e
500 MW $\times 10^3$				2,31 1,386	1,962 1,355	0,754 0,6458		f
500 MW $\times 10^3$				1,996 1,1823	0,597 0,4148	0,352 0,298		g
700 MW $\times 1^{3}$						2,947 2,485		h
700 MW $\times 10^3$						0,508 429,95		i

cinii echivalente se vor calcula prin însumarea cumulanților celor două componente. Momentele statistice brute determină direct mărimea cumulațiilor. În aceste condiții, expresia FDP după Gram — Charlier se determină astfel: [4]:

$$f(z) = f_n(z) - G_1 \cdot f_n^{(3)}(z)/3! + G_2 \cdot f_n^{(4)}(z)/4! - \\ - G_3 \cdot f_n^{(5)}(z)/5! + (G_4 + 10\,G_1^2) \cdot f_n^{(6)}(z)/6!,$$

unde:

$f_n(z) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}$ este FDP pentru repartiția Gauss-Laplace;

z — variabila normală normată $z = \dfrac{P_e - \mu}{\sigma}$

cu μ și σ media, respectiv dispersia valorilor sarcinii echivalente P_e;

$f_n^{(k)}(z)$ — derivata de ordinul k a FDP;

$G_i, i = 1, \ldots, 4$ — coeficienții exprimați funcție de valorile cumulanților.

Probabilitatea de depășire a unei anumite sarcini z_1 se determină:

$$R(z_1) = \int_{z_1}^{\infty} f(z)\,\mathrm{d}z = 1 - \int_{-\infty}^{z_1} f(z)\,\mathrm{d}z =$$

$$= 1 - \int_{-\infty}^{z_1} f_n(z) \cdot \mathrm{d}z + G_1 \cdot f_n^{(2)}(z_1)/3! - G_2 \cdot f_n^{(3)}(z_1)/4! + \\ + G_3 \cdot f_n^{(4)}(z_1)/5! - (G_4 + 10 \cdot G_1^2) \cdot f_n^{(5)}(z_1)/6!. \quad (8)$$

În relația (8) derivatele FDP în repartiția Gauss-Laplace se obțin prin relații de recurență iar funcția Laplace se poate calcula prin tabelare sau din relații de aproximare.

Dacă C_{j-1} și C_j sînt puterile totale instalate înainte, respectiv după conectarea generatorului j se poate calcula energia probabil livrată de ultimul generator :

$$W_j = \frac{1}{2} \cdot p_j(C_j - C_{j-1}) \cdot T[R_{j-1}(z_{j-1}) + R_{j-1}(z_j)], \tag{9}$$

unde :

p_j este probabilitatea de bună funcționare a generatorului j ;

T — perioada de timp în discuție ;

R_{j-1} se obține din considerarea situației înainte de încărcarea generatorului j.

Față de cele prezentate, rezolvarea problemei presupune parcurgerea următorului algoritm :

— se determină din curba de sarcină dată valoarea momentelor statistice brute $M_i (i = 0{,}1\,..4)$;

— pentru fiecare generator se determină momentele statistice brute ale VA putere în deficit astfel :

$$M_{ki} = P_i^k q_i, \quad k = 0,\ 1,\ \ldots,\ 4, \tag{10}$$

unde :

P_i este puterea nominală a generatorului i aflat în nefuncționare cu probabilitatea q_i;

— funcție de momentele statistice se calculează cumulanții sarcinii propriu-zise, CL_k, și ai puterii în deficit a generatoarelor, C_{gk} ;

— se calculează cumulanții sarcinii echivalente după ce r generatoare au fost încărcate :

$$CLE_k(r) = CL_k + \sum_{i=1}^{r} C_{gki}, \quad r = 0{,}1,\ \ldots,\ n.$$

Cumulanții astfel calculați determină coeficienții dezvoltării FDP după seria Gram-Charlier :

$$\mu = CLE_1(r), \quad \sigma^2 = CLE_2(r),$$

$$G_1 = \frac{1}{\sigma^3} \cdot CLE_3(r), \quad G_2 = \frac{1}{\sigma^4} \cdot CLE_4(r). \tag{11}$$

Precizia dezvoltării FDP impune numărul coeficienților și implicit și ordinul k al cumulanților din dezvoltare.

Considerînd succesiv valorile lui r se poate determina pentru fiecare din cele n generatoare atît energia probabil livrată, cît și cea nelivrată. Valoarea probabilității de neacoperire a sarcinii este dată de (8) pentru valoarea maximă a puterii instalate cu coeficienții calculați după încărcarea ultimului generator, $r = n$.

Spre exemplificare, se calculează :

— momentele statistice ale VA puterea consumatorului :

$$M_1 = \sum_{i=1}^{8} P_i \cdot \Delta t_i = \frac{1}{24}(75 \cdot 6 + 200 \cdot 4 + 275 \cdot 4 +$$

$$+ 300 \cdot 3 + 400 \cdot 3{,}5 + 500 \cdot 2 + 575 \cdot 0{,}5 +$$

$$+ 600 \cdot 1) = 272{,}39.$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^{8} P_i^2 \cdot \Delta t_i = 97981{,}77 ;$$

$$M_3 = \sum_{i=1}^{8} P_i \cdot \Delta t_i = 4{,}099 \cdot 10^7 ;$$

$$M_4 = 1{,}88 \cdot 10^{10};$$

— cumulanții sarcinii :

$$CL_1 = M_1, \quad CL_2 = M_2 - M_1^2 = 23782{,}73 ;$$

$$CL_3 = M_3 - 3M_2M_1 + 2M_1^2 = 1344220{,}11 ;$$

$$CL_4 = M_4 + 6M_2 \cdot M_1^2 - 4 \cdot M_3 \cdot M_1 - 3M_1^4 -$$

$$- 3CL_2^2 = -3{,}956.10^{10};$$

— momentele statistice ale puterii în deficit prin defectarea generatoarelor :

$$M_{g11} = 300 \cdot 0{,}08 = 24, \quad M_{g21} = 7200,$$

$$M_{g31} = 2{,}16 \cdot 10^6, \quad M_{g41} = 6{,}48 \cdot 10^8$$

$$M_{g12} = M_{g13} = 10, \quad M_{g22} = M_{g23} = 10^3,$$

$$M_{g32} = M_{g33} = 10^5, \quad M_{g42} = M_{g43} = 10^7$$

$$M_{g14} = 12, \quad M_{g24} = 2400, \quad M_{g34} = 4{,}8 \cdot 10^5,$$

$$M_{g44} 9{,}610^7;$$

– cumulanții puterii in deficit :

$C_{g11} = 24$, $C_{g21} = 6624$, $C_{g31} = 1{,}66 \cdot 10^6$,

$C_{g41} = 3{,}32 \cdot 10$,

$C_{g12} = C_{g13} = 10$, $C_{g22} = C_{g23} = 900$,

$C_{g32} = C_{g33} = 7{,}2 \cdot 10^4$,

$C_{g42} = C_{g43} = 4{,}14 \cdot 10^6$,

$C_{g14} = 12$, $C_{g24} = 2256$, $C_{g34} = 397056$,

$C_{g44} = 59702784$;

– cumulanții curbei de sarcină echivalente după încărcarea primelor trei generatoare :

$CLE_1(3) = 316{,}39$; $CLE_2(3) = 32206{,}7$,

$CLE_3(3) = 3157468{,}1$,

$CLE_4(3) = -54461428{,}8$;

– coeficienții dezvoltării Gram-Charlier

$\mu = CLE_1(3) = 316{,}39$,

$\sigma^2 = \mathrm{CLE}_2(3) = 32206{,}7$;

$$G_1 = \frac{1}{\sigma^3} \cdot CLE_3(3) = 0{,}5462,$$

$$G_2 = \frac{1}{\sigma^4} \cdot CLE_4(3) = -0{,}0525 ;$$

– energia probabil livrată de generatorul al patrulea pentru

$C_{j-1} = 300 + 2 \times 100 = 500$ și

$C_j = 500 + 200 = 700$ se obține :

$$z_{j-1} = \frac{500 - 316{,}39}{\sqrt{32206{,}7}} = 1{,}023,$$

$$f_n(1{,}023) = 0{,}2364,$$

$$\int_{-\infty}^{1{,}023} f_n(z)\,dz = 0{,}8468, \quad f_n^{(2)}(1{,}023) = 0{,}0109,$$

$$f_n^{(3)} = 0{,}4724 ;$$

$$f_n^{(5)}(1{,}023) = -1{,}3615, \quad R(1{,}023) = 0{,}16$$

$$z_j = \frac{700 - 316{,}39}{\sqrt{32206{,}7}} = 2{,}1375$$

și $R(2{,}1375) = 0{,}01$,

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0{,}94(700 - 500)(0{,}16 + 0{,}01) \cdot 24 =$$

$$= 383{,}52 \text{ MWh/zi.}$$

Pentru exemplul considerat s-au obținut valorile din tabelul 3 prezentate pentru cele trei metode.

1.4. Reprezentarea generatorului prin mai multe stări

Există posibilitatea considerării generatorului prin mai mult decît cele două stări anterior prezentate : defect total sau funcționare la puterea nominală. Se evidențiază de fapt cele s valori ale distribuției VA putere în deficit.

Tabelul 3

Valorile comparative ale bilanțului energetic

Generatoare în funcționare [MW]	Energia probabil nelivrată [MWh/zi]			Energia probabil livrată [MWh/zi]		
	1	2	3	1	2	3
300	1615,49	1615,49	1940,3	4922	4922	4597,2
300+100	873,89	875,5	1161,62	740	740	778,68
400+100	420,82	422,44	698,3	453	453,06	463,32
500+200	73,71	74,35	314,78	348	348,09	383,52
Total				6463	6463,15	6222,2

Modificarea în calcul apare în determinarea momentelor statistice, relația (10), care va lua forma (12):

$$M_{qki} = \sum_{j=1}^{s} P_{ij}^{k} \cdot q_{ij}. \qquad (12)$$

Restul algoritmului își păstrează succesiunea intactă.

De reținut că și metoda momente statistice poate evidenția, dar mult mai dificil, probabilitatea reprezentării generatorului în mai multe stări.

Concluzii

Primele două metode dau rezultate concrete foarte apropiate, dar sînt mai greu aplicabile sistemelor extinse ca număr de generatoare și curbe de sarcină cu multe paliere. Metoda a treia are dezavantajul unor erori de calcul cauzate de aproximarea prin dezvoltare în serie Gram-Charlier și prin calculul energiei pe baza unor aproximări numerice. Primul tip de eroare se limitează la maximum 4—5% din analiza rezultatelor autorului, iar considerarea unor puncte intermediare în metoda trapezelor reduce spectaculos și cel de-al doilea tip de eroare. Avantajul constă în aplicarea algoritmului lejer în cazul sistemelor extinse.

Compararea concretă a rezultatelor este dată în tabelul 3.

Bibliografie

[1] Booth, R. *Power systems simulation based on probability analysis.* In: IEEE Trans. on PAS, vol. 91, no. 1, 1972, pp. 62—65.

[2] Rau, N. S., Toy, P. *Expected energy production costs by the method of moments.* In: IEEE Trans. on PAS, vol. 99, no. 5, 1980, pp. 1908—1911.

[3] Stremel, J. P., Jenkins, R. *Production costing the cumulant method of representing the equivalent load curve.* In: IEEE Trans. on PAS, vol. 99, no. 5, 1980, pp. 1947—1956.

[4] Mihăilă, I. M. *Development of the trivariante frequency function in Gram Charlier.* In: Rev. Roum. Math Pures and Appl. vol. 13, no. 6, 1968, pp. 808—813.

(Primit la 5 octombrie 1989, acceptat la 14 noiembrie 1989)

Vă informăm

Comitetul Național Român de Iluminat (CNRI) invită specialiștii la conferința națională „ILUMINAT 90" care va avea loc în perioada 16—17 noiembrie 1990 în sediul Facultății de Instalații din Institutul de Construcții, Bd. Republicii 176, București, România.

Informații suplimentare se pot obține la adresa de mai sus, domnul președinte al CNRI, profesor dr. ing. C. Bianchi.

* * *

The International Solar Energy Society (ISES) — Societatea Internațională pentru Energie Solară din S.U.A. ne informează că își va ține congresul din anul 1991 în perioada 17—24 august, la Denver Marriott City Center — Denver, Colorado, USA.

Rezumatele trebuie trimise pînă la 10 octombrie 1990 pe adresa American Solar Energy Society 2400 Central Avenue, B—1 Boulder, CO 80 301, USA.

Informații suplimentare se pot obține de la domnul ing. Constantin Popescu, ICEMENERG — Colectiv Cercetare Surse Noi, tel. 206730/175.

Probleme determinante ale viitorului termoenergeticii României

Dr. ing. MARIO DUMA*

Descriptori: prognoză energetică, termoenergetică, modernizare

Din enunțarea unor condiții generale și specifice, de natură să determine dezvoltarea viitoare a centralelor termoelectrice pe combustibili inferiori, a centralelor hidroelectrice, nucleroelectrice, a surselor noi, a consumului de căldură sub formă de abur și apă fierbinte livrată din instalații centralizate, decurge concluzia că termoenergetica pe combustibili fosili trebuie să-și contureze un viitor propriu pe termen lung. Pe lîngă remedierile și modernizările concrete curente, stabilite și aflate în curs de desfășurare și care urmează să continue, se pune problema pregătirii, prin cercetări, a unor tehnologii avansate în termoenergetica clasică, astfel încît în următoarele 1 — 2 decenii să fie realizată o modernizare tehnologică profundă a tuturor categoriilor de centrale termoelectrice existente, vizînd randamente superioare, disponibilitate ridicată și puritate ecologică.

Following the statement of general and particular conditions meant to determine the future development of low-grade fuel fired thermal power stations, of hydropower and nuclear power stations, of new energy sources, of heat consumption under the form of steam and hot water supplied from centralized facilities, the conclusions can be drawn that it is fossil fuel based thermal power engineering that should be set-up on own long-run prospects.

Besides the ordinary retrofittings and updatings which have been already set forth and which are under way and are to be further on developed, the advanced technologies on conventional thermal power engineering are to be researched and worked at, such as within the next 1 — 2 decades a comprehensive technological retrofitting of every type of the available thermal power stations should be achieved with a view of getting high efficiencies and availability, as well as high ecological acceptability.

Încercarea de a opera o selecție, în multitudinea de probleme și aspecte de natură să definească sau să afecteze viitorul termoenergeticii României, conduce la un șir de întrebări, dintre care se pot spicui următoarele:

— Ce loc urmează să ocupe în viitor termoenergetica în contextul de ansamblu al energeticii României?

— Ce relații se stabilesc între termoenergetica clasică și cea nucleară? Dar, în interiorul celei clasice, între diferitele tipuri de resurse utilizate — în principal, între cărbune și hidrocarburi?

— Încotro se îndreaptă termoenergetica României sub aspectul său tehnic și calitativ? Ce uzură morală și fizică așteaptă termoenergetica noastră în întregul ei, inclusiv centralele termoelectrice „bune" actuale? Dar centralele-problemă — Rovinari, Turceni ș.a. — ce viitor prezintă ele? Și, pe de altă parte, ce garanții sînt necesare pentru ca factorii care au generat stările negative să-și fi epuizat acțiunea și pentru a fi la adăpost de apariția unor noi centrale-problemă sau noi categorii de centrale-problemă?

— Cum va evolua cererea de căldură? Ce loc va reveni în continuare, în acest sens, producției de energie electrică și termică?

Fiecare dintre aceste întrebări în parte este de natură să poată forma obiectul unei analize de detaliu, special consacrate. Dar aceste întrebări în ansamblul lor pot fi încadrate într-o înfășurătoare, din care să decurgă jaloane, orientări privind unele dintre direcțiile de dezvoltare a termoenergeticii României.

Așadar, quo vadimus?

Dacă se au în vedere producțiile scontate de combustibili inferiori, precum și limitările de producție ce urmează să fie făcute la combustibilii superiori, în scopul menținerii unui grad corespunzător de asigurare cu rezerve, rezultă că etapa dezvoltării extensive a capacităților de producție de energie termoelectrică trebuie să fie considerată încheiată, urmînd ca actualul proces de realizare de noi grupuri de termoficare pe lignit să nu mai continue. Din calculele efectuate rezultă că, chiar pentru nivelul extracției de lignit prevăzut pentru anul 1995, puterile instalate nominale pe lignit sînt deja realizate. De asemenea, mai rezultă că problema conservării și apoi a dezafectării centralelor electrice pe hidrocarburi, așa cum a fost pusă la un moment dat, trebuie să fie tratată cu foarte multă precauție.

În ceea ce privește centralele nucleroelectrice, se știe că deocamdată sînt stabilite două noi amplasamente, după centrala de la Cernavodă. În evaluarea traiectoriei acestui sector este de avut în vedere durata de realizare, în construcții-montaj pînă la punerea în funcțiune, a unui grup nucleroelectric, de 7 — 10 ani, conform experienței mondiale, în cazul unor fluxuri de realizare puse la punct (față de procesul, aflat în curs la noi, cu integrarea în fabricație de componente și materiale) care necesită un supliment de timp. În ansamblu, la stadiul actual și previzibil al tehnicii, se poate aprecia că nu va fi accesibil un număr

* Dr. ing. Mario Duma — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

mare de amplasamente în condiții de securitate în țara noastră dens populată, cu seismicitate relativ ridicată, cu soluri moi, cu ape cu debite mici față de nevoile centralelor nucleare.

Luînd act de preocuparea manifestată în lumea științifică și în opinia publică mondială după avaria de la Cernobîl, cînd o serie de țări și firme și-au reconsiderat sau chiar au sistat programele nucleare, dar altele le continuă, este firesc ca problematica dezvoltării în continuare a energeticii nucleare în România să fie pusă în legătură cu nivelul de securitate nucleară ce va fi asigurat, deci cu nivelul de tehnicitate și calitate la care se va face realizarea, punerea în funcțiune și exploatarea obiectivelor energetice nucleare. În orice caz, din evaluările efectuate rezultă că energetica nucleară nu va putea să substituie, cel puțin în viitoarele cîteva decenii, termoenergetica pe combustibili fosili; aceasta din urmă trebuie, deci, să-și contureze un viitor propriu pe termen lung. Iar energetica nucleară reclamă abordarea ei sub toate aspectele de natură să-i asigure o funcționalitate reală și un grad satisfăcător de eficiență și securitate, ceea ce presupune, cu prioritate, avansarea cunoașterii atît în fiecare dintre soluțiile tehnice de detaliu, cît și în conexiunile între acestea, pînă la relațiile între partea nucleară și cea clasică și funcționarea de ansamblu a blocurilor și a centralelor.

Experiența mondială constituie un reper și pentru ritmurile de proliferare a surselor noi; sînt cunoscute ponderile lor prognozate în balanțele energetice naționale. De asemenea, alți factori semnificativi sînt: aportul energetic net al programelor de implementare, ținînd seama de randamentele soluțiilor actuale și de consumurile de energie pentru realizarea echipamentelor; capacitățile specifice de producție, de construcții-montaj și de întreținere-service necesar a fi asigurate.

Pentru centralele hidroelectrice, pe măsură ce avansează gradul de valorificare a potențialului hidroenergetic, condițiile naturale sînt din ce în ce mai defavorabile, investiția specifică crește, astfel încît cu capacitățile de construcții-montaj disponibile și din fondurile alocate se realizează capacități mai puține, iar aportul energetic net al puterilor ce se instalează se reduce. Așadar, în condițiile țării noastre, hidroenergetica nu constituie o alternativă, ci un complement al termoenergeticii; un complement esențial sub aspect calitativ (putere de vîrf și reglantă), dar limitat cantitativ.

Pe de altă parte, se știe că în ceea ce privește consumul total intern de resurse energetice pe locuitor ne situăm la un nivel comparabil cu cel din multe țări industrializate dezvoltate; procesele industriale mari consumatoare de căldură prezintă ponderi ridicate în consumul total. Deci, și sub acest aspect, nu este justificată preliminarea de creșteri cantitative viitoare mari ale consumului de resurse energetice și, implicit, ale termoenergeticii — componentă dominantă a energeticii noastre în ansamblu. De altfel, se prevăd ritmuri mai moderate pentru creșterea economică însăși, iar în cadrul acestei creșteri se va acorda prioritate sectoarelor tehnicii de vîrf; se va amplifica acțiunea factorilor calitativi ai dezvoltării economice, concept ce include, între altele, reducerea consumurilor materiale și energetice, realizarea unui grad superior de valorificare a resurselor și, prin aceasta, dinamici ale creșterii consumului de energie inferioare în raport cu dinamica creșterii economice.

O întrebare importantă privind viitorul termoenergeticii se referă la evoluția producției și consumurilor de căldură sub formă de abur și apă fierbinte livrată din instalații centralizate. Există scenarii prevăzînd dinamici ridicate ale așa-zisei energii termice, în ideea substituirii combustibililor deficitari arși cu randamente scăzute în instalații de încălzire descentralizate. Aceasta a și stat la baza programului de centrale de termoficare pe lignit. Dar, la nivel național în România problema creșterii livrării de căldură poate privi în special consumul populației și gospodăria comunală, care și așa ocupă o pondere redusă; aceasta deoarece pentru industrie, pe de o parte, nu urmează să se dezvolte în mod semnificativ noi procese energointensive, iar, pe de altă parte, se pune accentul pe valorificarea în continuare a RER termice și combustibile. Iar substituirea în sine a consumului direct de combustibili superiori din instalații descentralizate prin căldură livrată centralizat pe combustibili inferiori are în față limitele de disponibilitate a combustibililor inferiori înșiși, deja menționate.

Așadar, nu există nici rațiune și nici resurse care să permită să se imagineze scenarii viitoare de mari creșteri cantitative ale termoenergeticii, ale densității de obiective termoenergetice pe harta țării. Iar capacitățile existente trebuie să poată produce cu randamente superioare, pentru a economisi resursele deficitare, realizînd performanțe ce corespund stadiului actual și viitor al tehnologiei. De aceea, pentru termoenergetica României, trecerea de la dezvoltarea de tip extensiv la cea de tip intensiv constituie nu un deziderat economic, ci o condiție de subzistență. În producția de energie electrică și termică și deopotrivă în toate utilizările acestora, realizarea unor indicatori de calitate corespunzători și a unor consumuri specifice reduse reprezintă singura posibilitate a viitorului.

La toate cele arătate, se adaugă problematica ecologică. După cum se știe, pe plan mondial are loc un proces de stabilire și de înăsprire

a unor norme de emisii poluante admise și este de așteptat ca pe parcursul anilor imediat următori să se instituie controale și restricții internaționale, cel puțin privind poluarea atmosferei și a apelor, iar indirect — prin intermediul controlului chimic și radioactiv al produselor alimentare de proveniență vegetală și animală — și asupra poluării chimice a solului și apelor freatice. Respectarea exigențelor internaționale viitoare privind nepoluarea va deveni o condiție a desfășurării proceselor tehnologice, inclusiv a celor energetice. Desigur, principale în această problemă sînt considerentele ce decurg din imperativul de asigurare a unui nivel corespunzător de sănătate pentru poporul român, în generațiile sale actuale și viitoare.

Ceea ce se știe astăzi cu certitudine este că versiunile nepoluante ale tehnologiilor de producere și de utilizare a energiei vor necesita, cel puțin pentru o anumită etapă a progresului tehnic viitor, investiții suplimentare și consumuri energetice suplimentare pentru procese de filtrări, epurări, colectări, recirculări, neutralizări de deșeuri nocive etc.

Dimpotrivă, pentru un viitor mai îndepărtat, tehnologiile nepoluante vor putea converge cu anumite tehnologii cu consumuri specifice reduse; într-adevăr, în general, la aceeași producție de energie electrică, obținerea unor randamente superioare înseamnă mai puțină poluare termică și mai puțin bioxid de carbon emis în atmosferă, iar în particular, de exemplu, arderea în strat fluidizat promite nu numai randamente mai bune în utilizare a combustibililor inferiori, ci și reținerea avantajoasă a sulfului și reducerea generării oxizilor de azot.

Așadar, problematica ecologică obligă la reconsiderarea tehnologiilor actuale și a instalațiilor termoenergetice existente, chiar și a celor care altminteri, după alte criterii, apar în prezent ca fiind corespunzătoare sau satisfăcătoare.

Dar în SEN se poate consemna existența a trei mari categorii de instalații:

— cele noi, funcționînd în ansamblu corespunzător, care vor intra sub incidența uzurii morale, inclusiv (sau în primul rînd) sub aspect ecologic;

— cele vechi, care și-au epuizat sau își vor epuiza în următorul deceniu durata de viață;

— cele relativ noi, care nu au atins și, cu eforturi deosebite ce se întind deja pe perioade pînă la un deceniu și jumătate, nu au reușit încă să intre în regim de funcționare la parametri nominali; se poate aprecia că, cel puțin pentru anumite componente, prin uzura și oboseala la care au fost supuse ca urmare a numărului mare de avarii sau chiar și numai a repetatelor porniri-opriri, precum și a deficiențelor de exploatare și întreținere-reparații, durata reală de viață a materialelor a fost epuizată în mod accelerat, astfel încît cunoscuta caracteristică a variației ratei de defectare în timp („cada de baie") a trecut practic direct din etapa inițială cu multe defecțiuni în cea finală cu multe defecțiuni, fără a trece prin ceea ce ar fi trebuit să fie etapa de bază, intermediară, de stabilizare la o rată de defectare scăzută.

Această constatare impune un diagnostic cît mai realist asupra ansamblului obiectivelor termoenergetice respective și asupra componentelor lor, pentru stabilirea programelor oportune și optime de lucrări care să fie efectuate în continuare, avînd în față întreaga paletă de opțiuni tehnice deschise.

Deci, pentru toate categoriile de instalații termoenergetice existente, problema modernizării lor în următorii 10 — 20 ani este vitală, înțelegînd însă prin modernizare nu remedierea curentă a unor deficiențe, ci aducerea instalațiilor la un nivel tehnic superior, într-adevăr modern și corespunzător calitativ. Dacă în ultimii 40 de ani — și, de fapt, de la începuturile ei — termoenergetica românească a fost obișnuită să construiască instalații noi pe terenuri noi, etapa care urmează este în principal cea a construirii de instalații noi pe terenuri vechi, adică în locul instalațiilor existente, valorificînd ceea ce poate fi menținut și modernizînd — inclusiv prin reutilări și reconstruiri — ceea ce nu se justifică să fie păstrat ca atare.

În fața unei astfel de noi etape a dezvoltării, se pune problema de a tinde spre o funcționare normală, cu disponibilitate ridicată și consumuri specifice scăzute, cu regimuri optimizate, cu realizare și punere în funcțiune a obiectivelor (noi sau/și modernizate) în termene prestabilite, optime sub aspect tehnico-economic, inclusiv atingerea indicatorilor proiectați ca o etapă componentă — și nu ulterioară procesului de punere în funcțiune. De altfel, după cum se știe de mult din literatura de specialitate, în special pentru centralele nuclearoelectrice (unde investițiile și, respectiv, amortizările au o pondere mare în prețul de cost al energiei electrice livrate), asigurarea unor durate riguros limitate de realizare și punere în funcțiune și a unei disponibilități ridicate sînt esențiale pentru eficiența investițiilor și pentru competitivitatea economică a proceselor de producție respective.

Toate cele arătate presupun creșterea gradului de aprofundare a problematicii tehnice în etapele de concepție, intensificarea acțiunilor preventive în raport cu cele curative (care se dovedesc, de regulă, tardive, costisitoare și puțin eficace), ancorarea mai puternică în noul tehnic de nivel avansat și, pentru aceasta, o anumită deplasare de pondere dinspre planșetă spre laboratoare, întărirea și respectarea ciclului cercetare — proiectare — asimilări — — investiții — producție așa cum este el de-

finit (și nu în succesiunea deformantă : proiectare — asimilări — investiții — producție — — așa-zisă „cercetare" pentru remedierea deficiențelor). În același timp, din experiența trecutului și prezentului se desprinde și concluzia privind importanța deosebită a asigurării din timp și permanent a calității factorului uman, sub toate aspectele : recrutare — selecție, pregătire, antrenament, atestare — autorizare (la angajare și periodic ; psihomedicală, cunoștințe, deprinderi), organizarea adecvată a producției și a muncii, a timpului de lucru și a celui de pregătire și antrenament ; asigurare de condiții sociale locale (habitat, dotări edilitare, socialculturale, comerciale, transport etc.), retribuire adecvată responsabilității și condițiilor de desfășurare a proceselor termoenergetice.

Revenind la progresul tehnic viitor în termoenergetica românească, pe lîngă remedierile și modernizările concrete curente, stabilite și aflate în curs de desfășurare, avînd ca scop creșterea continuă a disponibilității, reducerea consumurilor specifice de combustibil și a consumurilor proprii tehnologice de energie electrică și termică, adaptarea centralelor la folosirea unor combustibili cu caracteristici inferioare celor avute inițial în vedere, reducerea consumurilor de hidrocarburi de adaos și altele, se pune problema pregătirii, prin cercetări, a unor tehnologii termoenergetice avansate în termoenergetica clasică.

În concordanță cu evoluțiile confirmate pe plan mondial, atenția urmează să fie acordată cu prioritate ciclurilor combinate gaze-abur în termocentrale existente pe gaze naturale — pentru economisirea în primul rînd a acestor resurse energetice primare prețioase, tot mai deficitare, dar și datorită faptului că realizara ciclurilor combinate pe gaze naturale este cea mai avansată pe plan mondial și relativ mai ușor de introdus (deși în ansamblu acestea reprezintă o etapă de tehnicitate, de dificultate, mult superioară față de termoenergetica clasică). Abia pentru o a doua etapă se profilează realizarea ciclurilor combinate pe bază de combustibili inferiori — cu strat fluidizat, eventual cu gazificare integrată, care prezintă dificultăți suplimentare pentru instalațiile de puteri mari — ceea ce nu înseamnă însă amînarea abordării lor ci, dimpotrivă, dezvoltarea din timp a cercetărilor aferente, atît privind soluțiile de sistem și condițiile de implementare în centralele termoelectrice existente, cît și echipamentele necesare. Aprofundarea problematicii proceselor de ardere a combustibililor inferiori și elaborarea unor tehnologii avansate în acest domeniu va viza, probabil, de asemenea, cu prioritate, reducerea și eliminarea în continuare a hidrocarburilor de adaos — cu condiția obținerii unui aport energetic maxim la scara economiei naționale din ansamblul resurselor energetice primare utilizate, precum și reducerea generării de oxizi de azot și conducerea proceselor de ardere în regimuri care să limiteze solicitările termice și mecanice în cazan — probleme valabile, de altfel, pentru toate categoriile de combustibili utilizați.

România se află printre țările în care a fost adoptată arderea directă a combustibililor solizi inferiori, fără înnobilare. Cerințele ecologice vor putea impune reconsiderarea acestei politici, reluarea cercetărilor vizînd creșterea calității lignitului premergător arderii, din nou, urmărind obținerea unei eficiențe energetice și ecologice maxime la scara economiei naționale.

În *concluzie*, se subliniază necesitatea unor cercetări proprii privind tehnologiile termoenergetice avansate, într-o abordare sistemică și cu orientare spre pregătirea creării, pe parcursul următoarelor 1 — 2 decenii, a unei noi generații de centrale termoelectrice pe baza și în locul celor existente în prezent.

(Primit la 8 ianuarie 1990, acceptat la 5 februarie 1990)

Opinii

Articolul **„Probleme determinante ale viitorului termoenergeticii României"** a fost prezentat și dezbătut în cadrul unei „mese rotunde" la a XVI-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România — Brașov, 7 — 9 decembrie 1989, cu două săptămîni *înainte* de 22 decembrie 1989, la o dată cînd o serie dintre problemele care au fost dezbătute erau încă „tabu". Din cadrul discuțiilor purtate se menționează următoarele aspecte :

Ș.l. dr. ing. Florin Alexe, Institutul Politehnic București, susține necesitatea de a se stabili din timp soluțiile pentru echipamentele care le vor înlocui în viitor pe cele actuale ; apreciază că unele grupuri, a căror funcționare dă satisfacție în prezent în ceea ce privește disponibilitatea, prezintă consumuri specifice mari, limitări de regimuri, supradimensionări, întărind astfel ideea că modernizarea va trebui să se refere la toate categoriile de instalații. Pentru centralele realizate în trecut cu echipamente de import, trebuie stabilit ce se va solicita pentru modernizare de la furnizorii inițiali și ce se va realiza în țară.

Ing. Romeo Zbarcea, coordonator CTE-ISPE, informează că în ISPE se studiază modernizarea centralelor a căror durată de viață va fi depășită pînă în anul 2005 și reamintește că energetica românească a mai parcurs, în anii '50, o perioadă de reutilări și extinderi de centrale vechi. Relevă, ca probleme deschise deosebite pentru studiile de modernizare, expertizarea

construcțiilor existente, din punctul de vedere al securității pe care o mai oferă pentru condițiile energetice, expertizarea stării echipamentelor, a instalațiilor și apreciază că se poate trece imediat la elaborarea notelor de comandă și a proiectelor de modernizare.

Ing. Ioan Săndulescu, Institutul de Studii și Proiectări Energetice, consideră că pentru lignitul transportat la peste 100 km trebuie să se asigure sortare uscată, în vederea rentabilizării proceselor energetice. Subliniază necesitatea realizării de surse nucleare pentru alimentare cu căldură, pe baza tehnologiei CANDU.

Ș.l. dr. ing. Constantin Brătianu, Institutul Politehnic București, susține necesitatea considerării termoenergeticii atît ca tehnologie, cît și ca știință tehnică. În instalațiile termoenergetice se produc fenomene neliniare cu mulți parametri, a căror analiză necesită un aparat matematic complex.

Conf. dr. ing. Ioan Arsenie Badea, Institutul Politehnic București, consideră necesar să se aibă în vedere faptul că arderea lignitului în centrale mici este neeconomică. Sugerează un studiu de mare finețe asupra resurselor energetice de care dispunem.

Ing. Ovidiu Țuțuianu, M.E.E. pune în discuție problema balanței apă-abur-condensat, întrucît în dezvoltarea țării se conturează o criză a apei.

Ing. Dan Pillat, DGPEET, constată tăcerea și neclaritatea ce înconjoară problemele centralei pe șisturi de la Anina.

Dr. ing. Liviu Lup, Institutul de Studii și Proiectări Energetice, consideră că ar trebui analizate tehnico-economic avantajele ce se pot obține importînd păcură de calitate. În legătură cu ciclul mixt, atrage atenția asupra unor turbine cu gaze care nu au funcționat. Ridică problema unor importuri diversificate de combustibili.

Ec. Viorel Isăroiu, Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, amintind că problemele perfecționării personalului au fost amplu prezentate și dezbătute în cadrul consfătuirii, apreciază că modernizarea grupurilor din CTE va putea avea loc într-o etapă în care CNE vor contribui la balanța energiei electrice.

Conf. dr. ing. Victor Athanasovici, Institutul Politehnic București, subliniază importanța tratării sistemice a problematicii, pornind de la resursele primare, formele intermediare, pînă la forma finală consumată. Arată că obligativitatea încadrării consumatorilor în paliere orare conduce la consumuri energetice suplimentare.

Mai mulți vorbitori — **conf. dr. ing. Victor Athanasovici, ing. Ovidiu Țuțuianu, ing. Florică Mihai** — ICPMC, **ing. Maria Morariu** — Uz. Tractorul Brașov, **ing. Fota** aduc în discuție aspecte privind tehnologiile proceselor mari consumatoare de energie, perspectiva electrotermiei și cea a consumului de gaze naturale. În particular, ing. Fota afirmă că în cadrul așa-zisei valorificări superioare a gazelor naturale, o tonă de metanol exportat este de patru ori mai ieftină decît gazele naturale necesare, care se importă.

Ing. Constantin Cazacu, Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Energetice, apreciază că lignitul românesc se pretează foarte bine pentru arderea în strat fluidizat. Consideră oportun ca la actualele instalații să se continue modernizările curente, dar modernizarea lor radicală să mai fie temporizată pînă la pregătirea unor soluții avansate — ciclul combinat, ulterior MHD.

Ing. Mircea Rădulescu, Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, atrage atenția că cele trei etape parcurse de energetica din țările dezvoltate — funcționarea sigură, funcționarea economică și funcționarea ecologică — în România trebuie asigurate simultan. Printre căile de viitor de urmat pentru instalațiile de producere a energiei electrice, d-sa menționează: modernizarea instalațiilor pe combustibil lichid și gazos; asigurarea bunei funcționări a instalațiilor pe combustibili solizi care trebuie să ardă combustibil cu caracteristici inferioare celor inițiale. Cercetarea trebuie să ofere soluții în acest scop.

La centralele care sînt acum în curs de modernizare, să fie aplicate soluțiile cunoscute, dar perfecționate pînă la ultimul nivel cunoscut: concentratoare de praf, filtre cu suprafețe mari de captare etc. Pentru viitor, va trebui ca centralele ce vor fi reutilate cu echipamente noi să fie dotate cu soluții avansate; în acest sens, vorbitorul consideră că stratul fluidizat cu recirculație este adecvat pentru combustibilii noștri, inclusiv șisturile (apreciind, în context, că centrala Anina nu va putea funcționa cu actuala tehnologie). Este de acord cu teza din comunicare, privind necesitatea ca introducerea de noi tehnologii să se realizeze în instalațiile existente. În legătură cu promovarea ciclului mixt, consideră oportună realizarea turbinelor de gaze prin cooperare; pentru ciclul mixt pe lignit este de avut în vedere arderea în strat fluidizat și nu gazificarea. O problemă în care sîntem rămași în urmă o constituie arderea combustibililor lichizi grei. În scopurile enumerate este necesar să se renunțe la disiparea forțelor de cercetare, să se asigure concentrarea lor pe problemele importante.

Conf. dr. ing. Nicolae Pănoiu, Institutul Politehnic București, apreciază că problematica dezbătută depășește prerogativele specialiștilor de profil tehnic, trebuind să fie prezentată pentru adoptarea unor decizii la niveluri politice. Consideră că termoenergetica nu re-

prezintă un consumator de foarte mare pondere în balanța de energie primară. Este necesar să pornim nu de la resurse spre consum, ci de la analiza consumurilor. Există foarte multe procese industriale care sînt total neeconomice. Să nu renunțăm la atenția ce trebuie acordată centralelor termoelectrice clasice în așteptarea CNE, unde vor fi în continuare mari dificultăți, ci să întărim zestrea de centrale termoelectrice pe care o avem, după o analiză a punctelor slabe în acestea.

Conf. dr. ing. Costin Moțoiu, Institutul Politehnic București, apreciază că la masa rotundă s-au spus lucruri dure și clare. Recurgînd la proverbe, d-sa afirmă că :

1. Omul sfințește locul, ceea ce atrage atenția asupra problemelor pregătirii personalului de exploatare din centralele electrice.

2. Din coadă de cal nu se face bici de mătase, subliniind că centrala Anina este compromisă tehnic.

3. Nu tot ce zboară se mănîncă, fiind necesar să alegem judicios soluțiile adecvate, dintre cele existente pe plan mondial, adaptîndu-le corespunzător specificului instalațiilor noastre.

D-sa amintește că, la realizarea generației a doua de instalații termoenergetice, România a fost un promotor de soluții avansate pe plan mondial ; este necesară abordarea generației a treia, în care să se ardă curat ecologic și cu randamente ridicate cărbune inferior. Acest lucru nu este posibil fără turbine cu gaze asociate turbinelor cu abur (în ciclu mixt gaze-abur). Este de acord că soluția prioritară o constituie stratul fluidizat circulant, dar nu exclude eventualitatea unei gazificări parțiale incluse în ciclu.

Răspunzînd la 12 întrebări ce i-au fost adresate și comentînd unele dintre problemele ridicate în cadrul discuțiilor, **dr. ing. Mario Duma** consideră că la toate centralele-problemă, inclusiv Anina, sînt necesare analize-diagnostic care să identifice într-un mod sistematizat aspectele tehnice necesar a fi soluționate, să stabilească și să evalueze, în variante, măsurile de reutilare, de completare, de adaptare etc., precum și parametrii pe care se va putea conta. În campania de studii de modernizare aflate în curs la ISPE rolul cercetării nu trebuie să se limiteze numai la expertizarea stării, ci să cuprindă și participarea la stabilirea soluțiilor tehnice, în vederea unor modernizări efective. „Nu am încredere în nici o soluție făcută numai creion-hîrtie, la planșetă, la masa de ședință, fără cercetări prealabile în laboratoare, pe instalații pilot și pe calculator".

Centralele nuclearotermice necesită soluții specializate, simple constructiv, ceea ce nu se poate obține prin adaptarea soluției CANDU.

Balanța energetică în ansamblu și balanța energiei electrice în particular sînt și rămîn, cel puțin pentru următorii 10 — 15 ani, foarte încordate, astfel încît deocamdată orice extindere a electrotermiei trebuie să fie făcută cu foarte mare precauție, numai atunci cînd considerente de ordin calitativ o impun, numai dacă prin avantaje tehnologice locale se obțin economii de energie care să compenseze randamentul de 30% al centralelor electrice, și atunci ținînd seama de restricțiile de putere și energie electrică disponibilă.

Sîntem, într-adevăr, îngrijorați de amploarea pe care au luat-o tehnologiile mari consumatoare de energie, inclusiv de excesele în direcția așa-zisei valorificări superioare, ca materie primă, precum și de insuficiența preocupărilor și a investițiilor, în ramurile respective, pentru modernizări profunde, care să conducă la reduceri ale consumurilor energetice.

Totuși, trebuie să știm că vom continua să importăm cantități mari — din ce în ce mai mari — de țiței, gaze naturale, energie electrică și cărbune superior, astfel încît, pe de o parte, trebuie să ne limităm creșterea consumurilor pornind de la resursele limitate de care dispunem și de la posibilitățile de a acoperi eforturile valutare necesare, iar pe de altă parte avem nevoie de crearea condițiilor pentru importuri diversificate de purtători de energie ; ca primă prioritate — de gaze naturale. Afirmăm aceasta și în baza unor analize pe care le-am făcut, cu colaborarea institutelor de specialitate, asupra evoluțiilor viitoare ale extracțiilor interne de resurse energetice primare, pe fiecare tip de resursă în parte.

Economia de apă corelat cu economia de energie este o problemă ce necesită și justifică aprofundarea ; nu am cercetat problema bilanțului de condens returnat.

Termoenergetica este o componentă majoră, predominantă, a energeticii, dacă ținem seama de rolul ei în producerea energiei electrice în centralele termoelectrice, în producția energiei termice în centrale termoelectrice și în centrale termice, de energetica nucleară, precum și de ponderea foarte mare a utilizărilor termice pentru care, în întreaga economie, se ard combustibili.

Datoria specialiștilor termoenergeticieni este să elaboreze soluții și puncte de vedere fundamentate în mod multilateral, direcții de acțiune realiste ; într-adevăr, însușirea sau neînsușirea acestora revine responsabilității nivelurilor de conducere politică.

Noi soluții pentru instalațiile de desprăfuire aferente stațiilor de concasare a cărbunelui din termocentrale

Ş. l. dr. ing. NICOLAE BĂRAN, ş. l. dr. ing. GHEORGHE BĂRAN*

Descriptori : instalații de desprăfuire, concasare cărbune, termocentrale

În lucrare se prezintă instalația de măsură și rezultatele măsurătorilor privind concentrațiile de praf de cărbune în aer din stația de concasare a cărbunelui de la C.E.T. Giurgiu. Sînt date valori ale analizelor granulometrice ale prafului de cărbune degajat în stație.

Studiile și cercetările experimentale efectuate în instalațiile de desprăfuire existente sînt finalizate în propuneri de calcul al hotelor de aspirație și în soluții constructive de modificare a utilajelor tipizate din cadrul instalațiilor de desprăfuire. Se prezintă soluția pentru instalația de desprăfuire aferentă stației de concasare a cărbunelui de la C.E.T. Borești II.

Measurements devices and results of coal dust concentrations in the air at the coal crushing station of the heat and power plant Giurgiu are presented. Granulometric analysis values of the coal dust within the station are given.

Experimental studies and research works within dust separator stations resulted in calculation proposals of suction hoods and in construction solutions for modifying typified facilities of dust separator devices. The solution selected for the coal crushing dust separator station of the heat and power plant Borzești II is presented.

ntroducere

Instalațiile de captare, transport și separare a prafului de cărbune degajat în gospodăriile de combustibil din termocentrale sînt realizate pe baza unor proiecte care prevăd echipamente și utilaje tipizate. Practica exploatării lor arată o eficiență redusă și, frecvent, scoaterea lor din funcțiune. Această situație se explică atît prin utilizarea unor date și metode de proiectare a instalațiilor de desprăfuire mai puțin riguroase, cît și, în anumite cazuri, unei exploatări necorespunzătoare.

În lucrare se prezintă date experimentale și soluții teoretice pentru calculul aerodinamic al instalațiilor de desprăfuire și soluțiile adoptate la proiectarea unor noi instalații de desprăfuire. Rezolvarea completă a problemelor legate de funcționarea acestor instalații necesită încă numeroase cercetări experimentale, precum și modificarea și perfecționarea unor utilaje tipizate.

1. Elemente de calcul pentru dimensionarea instalațiilor de desprăfuire

1.1. Cantități de praf degajate în hala benzilor transportoare din stația de concasare a cărbunelui

Pentru măsurarea concentrației de praf în aer, în zona de cădere a cărbunelui din concasor pe banda transportoare și în hală s-a proiectat și realizat instalația prezentată în figura 1 Valorile măsurate ale concentrației de praf în aer sînt date în tabelul 1.

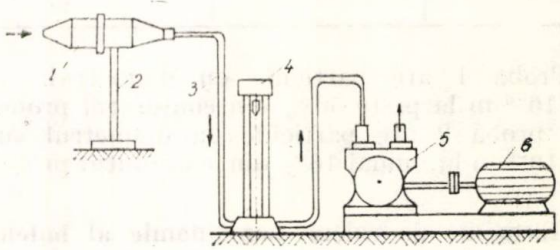


Fig. 1. Instalație pentru măsurarea concentrației de praf în aer: 1 — sondă de captare; 2 — suport; 3 — tub de legătură; 4 — rotametru; 5 — pompă de vid; 6 — motor electric de acționare.

Tabelul 1

Locul de măsură	Concentrația [g/m³]
Lîngă punctul de cădere a cărbunelui pe bandă	15,5053
În hala benzilor transportoare	2,0501

* Ş. l. dr. ing. Nicolae Băran, ş. l. dr. ing. Gheorghe Băran — Institutul Politehnic, București.

1.2. Analiza granulometrică a prafului de cărbune

În colaborare cu ICSITEE s-au efectuat numeroase analize granulometrice ale prafului de cărbune. S-au colectat două probe de praf de cărbune:

— proba I, de pe banda transportoare de lîngă hota de aspirație;

— proba II, din hala benzilor transportoare de pe planșeul halei (cota ±0,0).

Repartiția pe fracții granulometrice a celor două probe de cărbune este prezentată în tabelul 2. Din tabel se observă o diferență mare între finețea celor două probe.

Tabelul 2

Clasa de granulație $m.10^{-6}$	Proba 1 [%]	Σ	Proba 2 [%]	Σ
>500	—	—	7,40	7,40
500—200	1,60	1,60	19,60	27,00
200—125	3,60	5,20	15,00	42,00
125—90	9,00	14,20	17,00	59,00
90—71	6,00	20,20	7,60	66,60
71—63	8,00	28,20	6,40	73,00
63—50	29,95	58,15	11,00	84,00
50—33	11,77	69,92	16,00	100,00
33—27	4,29	74,21	—	—
27—16	20,52	94,73		
16—10	2,61	97,34		
10— 8	0,64	97,98		
8— 6	0,93	98,91		
6— 3	0,80	99,71		
< 3	0,29	100,00		
$\bar{d}_m$	37		94	

Proba 1 are particule cu diametrul sub $50 \cdot 10^{-6}$ m la peste 50% din conținutul probei, iar proba 2 are particule cu diametrul sub $50 \cdot 10^{-6}$ m la numai 16% din conținutul probei.

2. Elemente de calcul aerodinamic al hotelor de aspirație

Soluțiile constructive adoptate și tipizate pentru hotele de aspirație neglijează spectrul curgerii în zona de absorbție, suprafața lor de captare fiind, de regulă, paralelă cu direcția de mișcare a benzii transportoare. Astfel, neglijînd într-o primă aproximație efectul de antrenare a aerului ca urmare a deplasării benzii spectrul curgerii amestecului de aer cu praf de cărbune, în zona de cădere a cărbunelui pe bandă, este prezentat în figura 2. Rezultă astfel că este puțin probabil ca o hotă amplasată ca în figura 2 să extragă majoritatea particulelor de praf din zona respectivă.

Rezultă totodată importanța cotei (x) de amplasare a hotei față de axul pîlniei de cădere a cărbunelui care în orice caz trebuie să fie în aval de zona cu vîrtejuri. Cercetări mai vechi [5] arată că în cazul în care poziția hotei este impusă din considerente de exploatare astfel

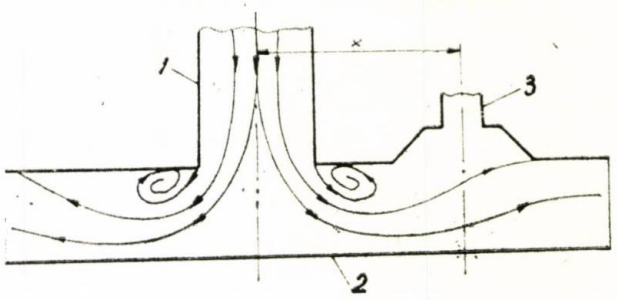


Fig. 2. Spectrul curgerii amestecului în zona de cădere a cărbunelui pe bandă:
1 — pîlnie de cădere; 2 — bandă transportoare; 3 — hotă de absorbție.

încît secțiunea de aspirație a hotei să fie paralelă cu banda transportoare, eficiența hotei scade rapid, odată cu creșterea distanței față de secțiunea de absorbție. Diagramele [5] întocmite pentru calculul hotelor de aspirație sînt utile pentru fluide monofazice. Pentru întocmirea unui breviar de calcul al hotelor de aspirație se adoptă o formă a acesteia susceptibilă de tratare teoretică [4, 7] (fig. 3).

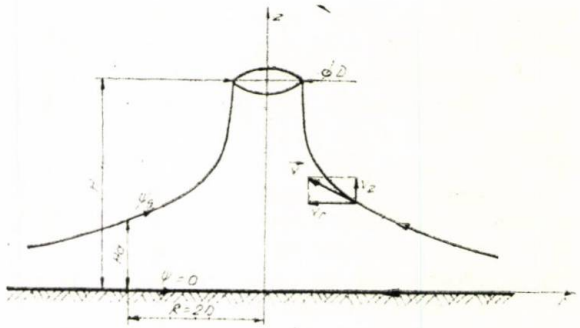


Fig. 3. Schița curgerii în hotă.

Curgerea este axial simetrică și în sistemul de coordonate $r0z$, fie $\varphi\ (r, z)$, potențialul mișcării și $\psi\ (r, z)$ funcția de curent.

$$\varphi\ (r,\ z) = \frac{c}{2}\left(z^2 - \frac{r^2}{2}\right);$$

$$\psi\ (r,\ z) = \frac{c}{2} \cdot zr^2, \qquad (1)$$

unde constanta c se determină ulterior.

Distribuția de viteze are forma:

$$v_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z} = cz; \quad v_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = -\frac{cr}{2}. \qquad (2)$$

Sensul vitezelor din figura 1 impune $c>0$. Debitul de aer în secțiunea $\varnothing D$ la cota H este :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v_z = \frac{\pi D^2}{4} (cz)_{z=H} = \frac{\pi D^2}{4} c \cdot H \qquad (3)$$

și de aici rezultă valoarea constantei c :

$$c = \frac{4Q}{\pi D^2 H} \qquad (4)$$

Forma hotei se obține din ecuația liniilor de curent :

$$\psi = \frac{4Q}{\pi D^2 H} \cdot rz^2 = \text{ct} \qquad (5)$$

Fie $\psi_0 = 0$ valoarea lui ψ pe suprafața plană și $\psi = \psi_s$ pe suprafața hotei.

Cum $\psi_s - \psi_0 = \frac{Q}{2\pi}$ rezultă ecuația suprafeței ψ_s :

$$zr^2 = \frac{D^2 H}{4} \qquad (6)$$

Distribuția de viteze în hotă are expresia :

$$v_z = cz = \frac{4Q}{\pi D^2 H} \cdot z ;$$

$$v_r = -\frac{cr}{2} = -\frac{2Q}{\pi D^2 H} \cdot r. \qquad (7)$$

Pentru dimensionarea hotei admitem următoarele ipoteze :

a) suprafața de absorbție a hotei este dată, deci fie $R = a.D$, unde a este un număr întreg sau nu.

Cota H_a rezultă din ecuația lui ψ_s :

$$H_a \cdot R = \frac{D^2 H}{4} ; \quad H_a \cdot a^2 D^2 = \frac{D^2 H}{4} .$$

Rezultă :

$$H_a = \frac{H}{4a^2} . \qquad (8)$$

b) Viteza amestecului de aer cu praf de cărbune în conducta de aspirație (v) cu $\varnothing = D$ este impusă : $v \geqslant v_{ac}$, unde v_{ac} este viteza minimă de antrenare a prafului în conductă (considerată cunoscută). Deci conform ecuației de continuitate :

$$Q \geqslant \frac{\pi D^2}{4} \cdot v_{ac}. \qquad (9)$$

c) Viteza în secțiunea de absorbție a hotei ($2\pi R \cdot H_a$) este de asemenea impusă și notăm v_{ai} valoarea respectivă :

$$Q \geqslant v_{ai} \cdot 2\pi \cdot R \cdot H_a = 2\pi \cdot aD \cdot v_{ai} \cdot \frac{H}{4a^2} . \qquad (10)$$

Din relațiile (9) și (10) se obține :

$$\frac{H}{D} = \frac{a}{2} \cdot \frac{v_{ac}}{v_{ai}} \qquad (11)$$

d) Componența v_z a vitezei în secțiunea de aspirație de la cota H_a să verifice condiția $v_z > w$, unde w este viteza uniformă de cădere a particulelor de praf ; valoarea lui w depinde de clasa de granulație a particulelor, de concentrația lor etc.

$$\frac{4Q}{\pi D^2 H} \cdot H_a \geqslant w \qquad (12)$$

Înlocuind debitul : $Q \geqslant \frac{\pi D^2}{4} \cdot v_{ac}$ în relația (12) se obține :

$$\frac{H_a}{H} \geqslant \frac{w}{v_{ac}} .$$

Ținînd cont de relația (8) rezultă :

$$\frac{1}{4a^2} \geqslant \frac{w}{v_{ac}} . \qquad (13)$$

Din relația (13) se obține :

$$a \leqslant \sqrt{\frac{v_{ac}}{4w}} . \qquad (14)$$

Din relația (14) se poate determina parametrul geometric a, caracteristic hotei de absorbție.

Din calculul prezentat rezultă necesitatea determinării în prealabil a următoarelor mărimi :

a. viteza de cădere uniformă a particulelor de praf care pentru concentrații mici poate fi calculată teoretic [6] sau cu relații recent publicate [10] ;

b. viteza minimă a amestecului în conductele de transport ; datele publicate privind viteza minimă [3, 7] au valoare informativă și nu țin cont de variațiile mari de concentrație care apar în secțiunea de aspirație a hotei.

3. Soluţii pentru îmbunătăţirea funcţionării instalaţiilor de desprăfuire

Cercetările experimentale efectuate au condus la următoarele modificări ale utilajelor :

a) desfiinţarea sistemului de închidere a fiecărui ciclon şi realizarea unui sistem de închidere etanşă a buncărului principal ;

b) cantităţile de praf colectate în buncăr la instalaţiile existente (2,5 m^3/h de praf colectat) arată că volumul buncărului trebuie mărit. La proiectarea noilor instalaţii de desprăfuire s-au prevăzut următoarele :

— un nou tip de hotă montată la capetele benzii transportoare ;

— funcţionare separată a instalaţiei de desprăfuire pentru fiecare bandă transportoare ;

— alegerea tipului de ventilator care la debitul de aer necesar realizează o creştere de presiune totală maximă.

Concluzii

a. Practica exploatării şi calculul aerodinamic [1, 2, 3, 8, 9, 11, 12] al instalaţiilor de desprăfuire demonstrează necesitatea asigurării funcţionării unei instalaţii pentru fiecare bandă.

b. La proiectarea noilor instalaţii de desprăfuire se recomandă utilizarea mărimilor măsurate şi prezentate în tabelele 1 şi 2.

c. Calculul aerodinamic al hotelor ca şi al instalaţiei de transport şi separare necesită determinări experimentale privind vitezele minime de transport.

d. Instalaţiile de desprăfuire cu separare uscată reţin, conform măsurătorilor efectuate, circa 70% din cantităţile de praf absorbite.

e. Creşterea eficienţei instalaţiilor de desprăfuire şi reducerea consumurilor specifice necesită reproiectarea unor utilaje tipizate folosite în prezent.

Bibliografie

[1] Arjanikov, N. S., Malţev, V. N. *Aerodinamica.* Oboronghiz, Moscova, 1952.

[2] Bărglăzan, A. *Încercările maşinilor hidraulice şi pneumatice.* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1959.

[3] Bratu, E. *Operaţii şi utilaje în industria chimică,* vol. I, II, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1969.

[4] Carafoli, E., Constantinescu, V. N. *Dinamica fluidelor incompresibile.* Ed. Academiei R.S.R., Bucureşti, 1981.

[5] Christea, Al. *Bazele ventilaţiei industriale.* Ed. Consiliului Central al Sindicatelor, Bucureşti, 1954.

[6] Dănescu, Al., Băran, Gh., Băran, N. *Cercetări de laborator privind viteza de cădere a particulelor de praf de cărbune.* In : Energetica, 25, nr. 6, 1978, p. 265—268.

[7] Florea, J., Robescu, D. *Hidrodinamica instalaţiilor de transport hidropneumatic şi de depoluare a apei şi aerului.* Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.

[8] Idelcik, E. *Spravecinik po ghidrauliceschiem soprotivleniam* ediţia a II-a. Maşinostroenie, Moskva, 1975.

[9] Kasatkin, A. G. *Osnovnie profesi i aparat himiceskoi tehnologhii.* Ed. Gosimzdat, Moskva, 1960.

[10] Slot, R. E. *Terminal velocity formula for objects in a viscous fluid.* In : Journal of Hidraulic Research, vol. 22, 1984, nr. 4, p. 235—245.

[11] Tănase, N. *Ghid de protecţia muncii,* vol. IV MICM, Bucureşti, 1984.

[12] Voicu, V., Casian, E., Barascu, I. *Realizări recente în combaterea poluării atmosferei în industrie.* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1977.

(Primit la 18 mai 1988, acceptat la 27 iulie 1989)

Analiza numerică cu elemente finite a comportării în regim termic tranzitoriu a unui schimbător de căldură

Dr. ing. IOAN GHEORGHE CARABOGDAN, ing. MIHAI-MARIUS VORONCA, dr. ing. CONSTANTIN BRĂTIANU*

Descriptori: elemente finite, regimuri termice tranzitorii

Lucrarea prezintă un model numeric cu elemente finite pentru analiza cîmpurilor termice generate într-un schimbător de căldură de tip țeavă în țeavă. Modelul are la bază ecuațiile de curgere forțată neizotermă prin interiorul conductelor, în condițiile transferului de căldură în lung și în perpendicular pe direcția de curgere, pentru geometrii axial-radiale. Cuplajul ecuațiilor este realizat prin intermediul condițiilor de interfață. Aplicațiile numerice realizate pentru un schimbător de căldură de tip țeavă în țeavă, funcționînd în regim termic tranzitoriu sînt validate prin atingerea, în timp, a parametrilor de staționaritate. Aceste concluzii vor constitui baza modelării unui schimbător de căldură de tip multitubular.

The paper presents a numerical finite elements model for the analysis of thermal fields generated in a tube-in-tube heat exchanger. The model is based on non-isothermal forced flow equations inside the tubes, during heat transfer along and across the flow direction, for axial-radial geometries. The equations coupling is achieved by interfacing. Numerical applications for a tube-in-tube heat exchanger operating in transient thermal regime are validated by meeting in time steady state parameters. These conclusions will constitute the modelling basis of multi-tube heat exchanger.

Formularea problemei

Funcționarea echipamentelor energetice în care au loc fenomene de transfer de căldură reprezintă un domeniu care oferă, pentru cercetarea științifică, multiple direcții de investigare. Dintre acestea, se detașează, prin volumul *mic* de informații puse la dispoziție de calculele inginerești clasice, funcționarea echipamentelor în regimuri termice tranzitorii.

Eforturile depuse în acest sens sînt orientate către modelarea fenomenelor fizice care au loc, sub forma unor ecuații matematice și a descrierii comportamentului diferitelor materiale prin relații constitutive, către stabilirea unor modele analitice și obținerea, pentru aceste modele analitice, a unor soluții cu grad înalt de generalitate.

Analiza numerică cu elemente finite, componentă de bază a metodelor de cercetare numerică puse la punct pînă în prezent, propune posibilități extinse de experimentări numerice, apropierea de rezultatele obținute prin experimentele efective pe echipamente dovedind potențialitatea extinsă a acestei metode în abordarea unor astfel de probleme.

Scopul acestei lucrări este de a descrie, secvențial, punerea la punct a modelului numeric cu elemente finite a unui schimbător de căldură de tip țeavă în țeavă și simularea regimurilor termice tranzitorii ale acestuia în condiții normale de exploatare.

* * *

Realizarea modelului numeric al unui schimbător de căldură de tip țeavă în țeavă este posibilă atunci cînd, pentru fenomenele care au loc — convecție și conducție, de exemplu — în interiorul echipamentului, sînt stabilite ecuațiile diferențiale cu derivate parțiale, considerate în cadrul generat de anumite condiții de calcul.

În lucrarea de față se adoptă următoarele ipoteze simplificatoare:

— ecuațiile diferențiale cu derivate parțiale mixte de ordinul doi devin ecuații diferențiale mai simple [3, 4] prin considerarea funcțiilor de temperatură agent primar, perete și agent secundar de forma $T_{fp} = T_{fp}(x, t)$, $T_p = T_p(x, t)$, $T_{fs} = T_{fs}(x, t)$ în °C;

— procesele de transfer de căldură sînt unidirecționale, existînd însă un „cuplaj termic" datorat cantităților de căldură ce traversează contururile de bilanț [1, 4] pentru fiecare element finit în parte, perpendicular pe direcția fundamentală de transfer de căldură (fig. 1);

— agenții termici care schimbă căldură nu își modifică stările de agregare, nu au proprietăți fizice dependente de temperatură [1], iar debitele lor sînt constante în timp;

* Dr. ing. Ioan Gheorghe Carabogdan, ing. Mihai-Marius Voronca, dr. ing. Constantin Brătianu — Facultatea de Energetică, Institutul Politehnic, București.

— secţiunile de trecere ale agenţilor termici sînt mărimi de intrare obţinute prin transformarea secţiunilor circulare în secţiuni rectangulare echivalente;

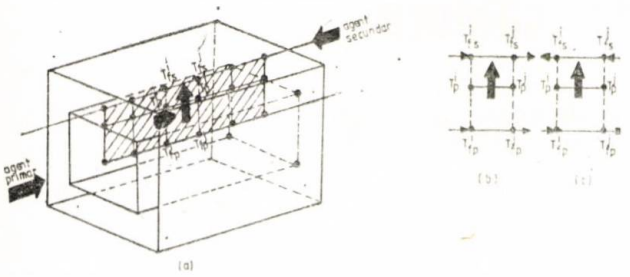


Fig. 1. Schimbătorul de căldură de tip ţeavă în ţeavă reprezentat în coordonate rectangulare: a-structura de elemente finite unidimensionale în secţiunea activă considerată; b-element finit unidimensional liniar pentru o schemă de curgere în echicurent; c-element finit unidimensional liniar pentru o schemă de curgere în contracurent.

— coeficienţii de transfer de căldură prin convecţie spre şi de la perete sînt ponderaţi cu un coeficient ce depinde de grosimea acestuia şi de coeficientul său de conductivitate termică după metoda rezistenţelor termice globale [1].

Ecuaţiile fundamentale ale modelului analitic al schimbătorului de căldură conform [1] sînt:

$$-\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{fp}A_{fp}\frac{\partial T_{fp}}{\partial x}\right)+\dot{m}_{fp}c_{fp}\frac{\partial T_{fp}}{\partial x}+$$

$$+\alpha_p P_p(T_{fp}-T_p)+\rho_{fp}c_{fp}A_{fp}\frac{\partial T_{fp}}{\partial t}=0, \quad (1)$$

$$-\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_p A_p\frac{\partial T_p}{\partial x}\right)-\alpha_p P_p(T_{fp}-T_p)+$$

$$+\alpha_s P_s(T_p-T_{fs})+\rho_p c_p A_p\frac{\partial T_p}{\partial t}=0, \quad (2)$$

$$-\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{fs}A_{fs}\frac{\partial T_{fs}}{\partial x}\right)\pm\dot{m}_{fs}c_{fs}\frac{\partial T_{fs}}{\partial x}-$$

$$-\alpha_s P_s(T_p-T_{fs})+\rho_{fs}c_{fs}A_{fs}\frac{\partial T_{fs}}{\partial t}=0, \quad (3)$$

unde:

$\lambda_{fp}, \lambda_p, \lambda_{fs}$ sînt conductivităţile termice ale fluidului primar, peretelui, respectiv fluidului secundar în W/m °C;

$\dot{m}_{fp}, \dot{m}_{fs}$ — debitele masice ale fluidului primar, respectiv secundar, în kg/s;

α_p, α_s sînt coeficienţii spre şi de la suprafaţa de schimb de căldură, în W/m² °C;

P_p, P_s — perimetrele secţiunilor de curgere pentru primar, respectiv secundar, în m;

$\rho_{fp}, \rho_p, \rho_{fs}$ — densităţile fluidului primar, peretelui, respectiv fluidului secundar, în kg/m³;

A_{fp}, A_p, A_{fs} — secţiunile transversale echivalente pentru fluidul primar, perete, respectiv fluidul secundar.

Pentru ipotezele simplificatoare propuse ecuaţiile (1) — (3) ale modelului analitic devin:

$$-\lambda_{fp}A_{fp}\frac{\partial^2 T_{fp}}{\partial x^2}+\dot{m}_{fp}c_{fp}\frac{\partial T_{fp}}{\partial x}+$$

$$+\alpha_p P_p(T_{fp}-T_p)+\rho_{fp}c_{fp}A_{fp}\frac{\partial T_{fp}}{\partial t}=0, \quad (4)$$

$$-\lambda_p A_p\frac{\partial^2 T_p}{\partial x^2}-\alpha_p P_p(T_{fp}-T_p)+$$

$$+\alpha_s P_s(T_p-T_{fs})+\rho_p c_p A_p\frac{\partial T_p}{\partial t}=0, \quad (5)$$

$$-\lambda_{fs}A_{fs}\frac{\partial^2 T_{fs}}{\partial x^2}\pm\dot{m}_{fs}c_{fs}\frac{\partial T_{fs}}{\partial x}-\alpha_s P_s(T_p-T_{fs})+$$

$$+\rho_{fs}c_{fs}A_{fs}\frac{\partial T_{fs}}{\partial t}=0, \quad (6)$$

unde semnul „—" din ecuaţia (6) corespunde schemei de curgere în echicurent (fig. 1 *b*), iar semnul „+" pentru schema de curgere în contracurent (fig. 1 *c*).

Modelul numeric cu elemente finite

Obţinerea modelului numeric cu elemente finite impune parcurgerea unor etape obligatorii în urma cărora sistemul de ecuaţii diferenţiale cu derivate parţiale de ordinul doi se transformă într-o ecuaţie matriceală rezolvabilă prin metode clasice.

Astfel, prin metodologia descrisă în [2, 3, 4] se transcrie sistemul de ecuaţii (4) — (6) în forma integrală, luînd în considerare funcţii aproximative [2, 3] pentru temperaturile agentului primar, peretelui, respectiv agentului secundar, funcţii dependente de funcţiile de formă ale tipului de element finit ales la discretizarea domeniului de analiză [2, 3] şi de vectorii temperaturilor nodale (necunoscute din ecuaţia matriceală globală) rezultaţi din acelaşi proces de discretizare. În continuare, pentru fiecare element finit în parte se deter-

mină coeficienţii necunoscutelor din sistemul considerat, prin rezolvarea integralelor care apar în expresiile termenilor ecuaţiilor integrale, precum şi ale termenilor liberi, unde este cazul.

Sistemul de ecuaţii după aceste modificări devine :

$$\begin{bmatrix} \underset{\approx}{W}^e_{fp} & 0 & 0 \\ 0 & \underset{\approx}{W}^e_{p} & 0 \\ 0 & 0 & \underset{\approx}{W}^e_{fs} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\underset{\sim}{T}}^e_{fp} \\ \dot{\underset{\sim}{T}}^e_{p} \\ \dot{\underset{\sim}{T}}^e_{fs} \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} \underset{\approx}{K}^e_{fp} + \underset{\approx}{K}^e_{mp} + \underset{\approx}{K}^e_{\alpha fp} & -\underset{\approx}{K}^e_{\alpha fp} & 0 \\ -\underset{\approx}{K}^e_{\alpha fp} & \underset{\approx}{K}^e_{p} + \underset{\approx}{K}^e_{\alpha fp} + \underset{\approx}{K}^e_{\alpha fs} & -\underset{\approx}{K}^e_{\alpha fs} \\ 0 & -\underset{\approx}{K}^e_{\alpha fs} & \underset{\approx}{K}^e_{fs} + \underset{\approx}{K}^e_{ms} + \underset{\approx}{K}^e_{\alpha fs} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underset{\sim}{T}^e_{fp} \\ \underset{\sim}{T}^e_{p} \\ \underset{\sim}{T}^e_{fs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underset{\sim}{Q}^e_{fp} \\ \underset{\sim}{Q}^e_{p} \\ \underset{\sim}{Q}^e_{fs} \end{bmatrix},$$

unde matricele de tipul $\underset{\approx}{W}^e$, $\underset{\approx}{K}^e_f$, $\underset{\approx}{K}^e_\alpha$, $\underset{\approx}{K}^e_m$ au structura :

$$\underset{\approx}{W}^e = \rho c A^e \frac{L^e}{6} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}; \quad \underset{\approx}{K}^e_f = \lambda_f \frac{A^e_f}{L^e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\underset{\approx}{K}^e_\alpha = \alpha P \frac{L^e}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$K^e_m = \frac{\dot{m}}{2} c \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

iar $\dot{\underset{\sim}{T}}^e$, $\underset{\sim}{T}^e$ şi $\underset{\sim}{Q}^e$ sînt vectorii gradienţilor de temperatură, al temperaturilor, respectiv al termenilor liberi, în nodurile elementului finit.

Prin asamblarea tuturor elementelor finite prin procesul de expandare [2, 3] se obţine ecuaţia matriceală globală :

$$\underset{\approx}{W}\dot{\underset{\sim}{T}} + \underset{\approx}{K}\underset{\sim}{T} = \underset{\sim}{Q},$$

suportul material al programului de calcul EXCHANGER-1 DN, versiunea 1.

Descrierea programului EXCHANGER — 1 DN şi aplicarea lui

Programul de calcul EXCHANGER — 1 DN este conceput ca un instrument de analiză al comportării unui schimbător de tip ţeavă în ţeavă în regimuri staţionare şi tranzitorii, pentru agenţi termici care nu-şi modifică starea de agregare şi care au proprietăţi fizice constante în raport cu temperatura. Prin intermediul acestui program de calcul, care utilizează elemente finite unidimensionale cu funcţii de formă liniare, se obţin cîmpurile termice în fluidul primar, în interiorul suprafeţei de schimb de căldură şi în fluidul secundar. Datorită modului de realizare EXCHANGER — 1 DN poate rezolva şi situaţii în care agenţii termici îşi modifică proprietăţile fizice în raport cu temperatura (utilizarea metodei iteraţiilor succesive). Regimurile termice tranzitorii sînt rezolvate printr-o schemă simplă cu diferenţe finite [2, 4]. Structura programului EXCHANGER — DN versiunea 1 este redată în figura 2.

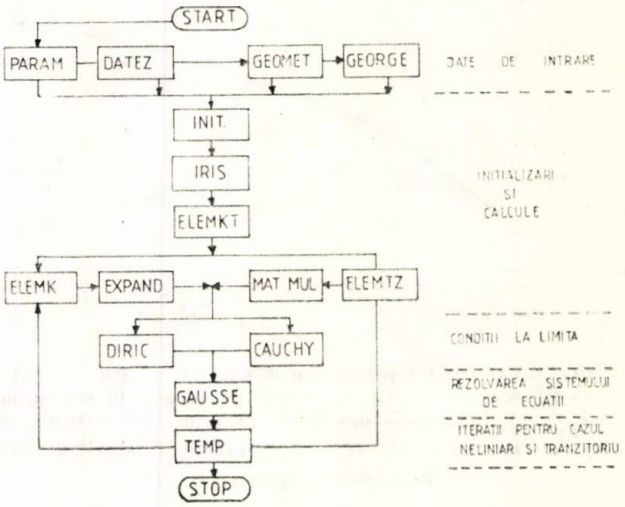


Fig. 2. Structura de bază programului de calcul cu elemente finite EXCHANGER—1 DN, versiunea 1.

Caracteristicile tehnice ale schimbătorului de căldură ales pentru aplicaţii sînt următoarele :

— temperatura agentului primar la intrarea în schimbătorul de căldură, $T^i_{fp} = 95°C$;

— temperatura agentului secundar la intrarea în schimbătorul de căldură, $T^i_{fs} = 15°C$;

— debitul nominal al agentului primar, $\dot{m}_{fp} = 0{,}6$ kg/s ;

— debitul nominal al agentului secundar, $\dot{m}_{fs} = 0{,}9$ kg/s ;

— diametrul interior şi exterior al secţiunii de curgere a agentului primar, $d_i = 32$ mm, $d_e = 35$ mm ;

— diametrul exterior al secţiunii de curgere a agentului secundar, $D_i = 48$ mm ;

— densităţile agentului primar, secundar şi peretelui, $\rho_{fp} = 980$ kg/m³, $\rho_{fs} = 990$ kg/m³, $\rho_p = 7\,800$ kg/m³ ;

— căldurile specifice ale agenţilor primar şi secundar şi a peretelui $c_{fp} = 4\,180$ J/kg.grd, $c_{fs} = 4\,180$ J/kg.grd, $c_p = 600$ J/kg.grad ;

— conductivităţile termice ale agenţilor primar şi secundar şi a peretelui, $\lambda_{fp} = 0{,}7$ W/m.grad, $\lambda_{fs} = 0{,}6$ W/m.grad, $\lambda_p = 50$ W/m.grad ;

— coeficienţii de convecţie de la agentul primar la perete $\alpha_p = 4\,000$ W/m² grad şi de la perete la agentul secundar $\alpha_s = 5\,600$ W/m² grad.

S-au obţinut rezultatele pentru regimuri termice tranzitorii la o perturbaţie a temperaturii agentului primar de tip „salt treaptă" de la 15°C la 95°C, atît pentru schema de curgere continuă, cît şi pentru schema de curgere echicurent, pentru un timp de urmărire $\Delta t = 15$ s.

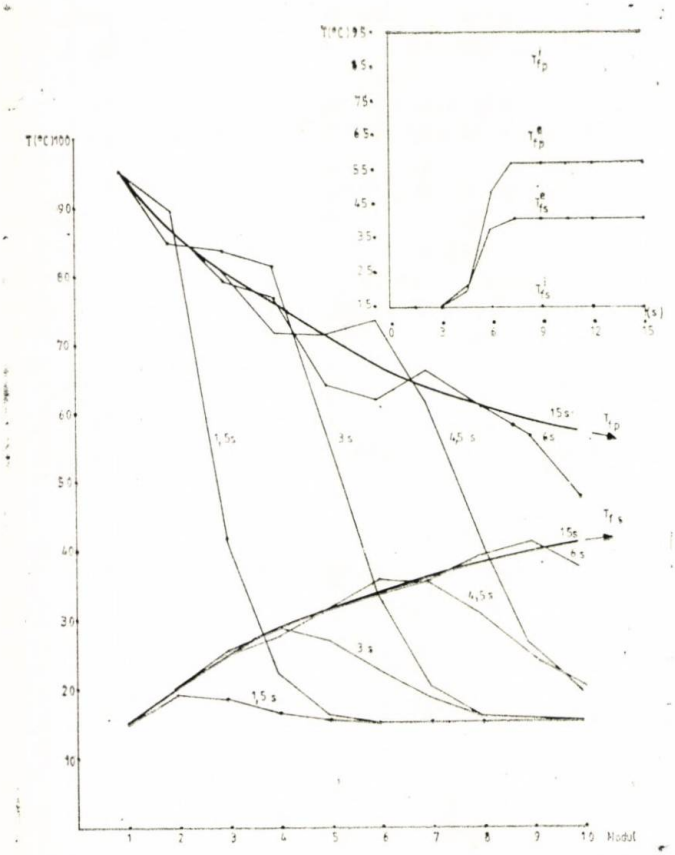


Fig. 3. Variația temperaturilor într-un schimbător de căldură de tip țeavă în țeavă cu schemă de curgere în echicurent : T^i_{fp}, T^e_{fp} — temperatura fluidului primar la intrare, respectiv la ieșire ; T^i_{fs}, T^e_{fs} — temperatura fluidului secundar la intrare, respectiv la ieșire.

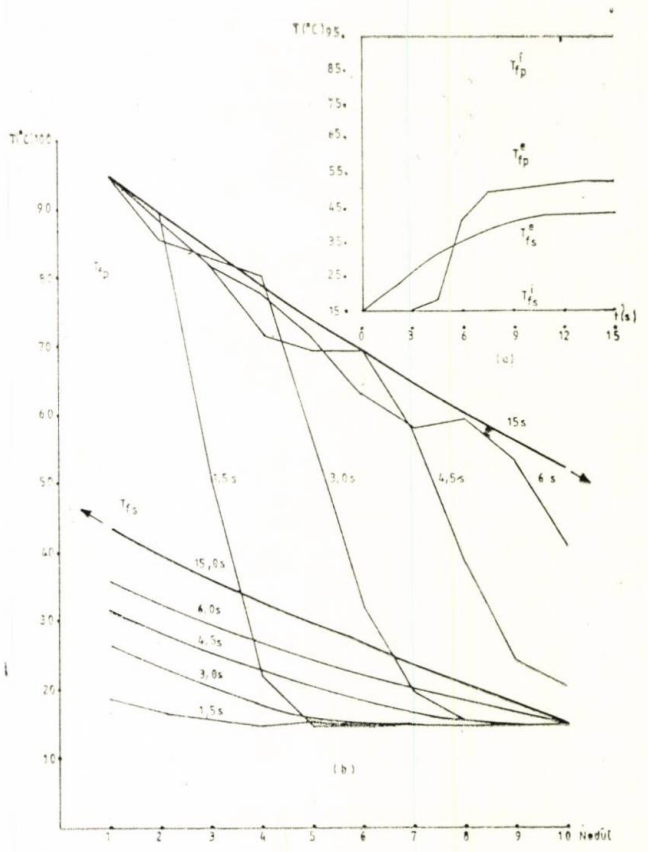


Fig. 4. Variația temperaturilor într-un schimbător de căldură de tip țeavă în țeavă cu schema de curgere în contracurent.

Interpretarea rezultatelor

Diagramele din figura 3*a*, *b* reprezintă variațiile temperaturilor caracteristice schimbătorului de căldură modelat pentru schema de curgere în *echicurent*, în condițiile în care, pentru debitele de agent primar și secundar stabilite la valorile lor nominale, se alege un salt treaptă de 80°C pentru temperatura de intrare a agentului primar încălzitor.

Diagramele din figura 4*a*, *b* reprezintă variațiile temperaturilor caracteristice pentru același tip de schimbător de căldură, dar pentru schema de curgere în *contracurent*.

Din compararea celor două categorii de grafice rezultă următoarele observații :

— temperatura de ieșire a agentului termic secundar începe să crească aproape simultan cu saltul treaptă impus temperaturii agentului termic primar T^i_{fp} la schema de curgere în contracurent spre deosebire de schema de curgere în echicurent la care temperatura de ieșire T^e_{fs} variază după un interval de timp $\Delta t = 3$ s ;

— stabilizarea temperaturilor de ieșire ale agenților primar și secundar, T^e_{fp}, T^e_{fs} se face mai rapid la schema de curgere în echicurent comparativ după $\Delta t = 7$ s, decît la schema de curgere în contracurent (aproximativ după $\Delta t = 13$ s) în condițiile în care, pentru această schemă de curgere, temperatura T^e_{fp} se stabilizează la o valoare mai ridicată, justificînd superioritatea curgerii în contracurent (diferența finală de temperatură mai mică).

Concluzii

Lucrarea de față tratează aspecte ale comportării în regimuri termice tranzitorii ale unui schimbător de tip țeavă în țeavă prin intermediul programului de calcul cu elemente finite EXCHANGER — 1 DN, versiunea 1, implementat pe un minicalculator din familia ROBOTRON din cadrul catedrei Centrale Electrice, din Institutul Politehnic București. Rezultatele numerice obținute se validează prin atingerea distribuțiilor de temperaturi caracteristice regimului staționar de funcționare. În perspectivă se urmărește modelarea unui schimbător de căldură multitubular pentru care să fie posibilă și validarea experimentală.

Bibliografie

[1] Carabogdan, I. Gh., colectiv. *Instalații termice industriale*, Editura tehnică, București, 1978.

[2] Olariu, V., Brătianu, C. *Modelarea numerică cu elemente finite*, Editura Tehnică, București, 1986.

[3] Voronca, M. M. *Modelarea numerică cu elemente finite a fenomenelor de transfer de căldură*, Referat de doctorat nr. 2, IPB, 1987.

[4] Zienkiewicz, O. C. *The finite element method*, 3-rd, ed. McGraw-Hill, London 1977.

(Primit la 31 mai 1989, acceptat la 5 februarie 1990)

Contribuții privind implementarea digurilor energetice în largul Mării Negre

Ing. GHEORGHE OLARU, ing. PETRU DAN LAZĂR*

Descriptori: energia valurilor, instalație de conversie, sistem hidropneumatic, turbină unisens, microcentrală marină

Digurile de adăpostire a incintelor portuare maritime și cele de protecție costieră pot fi realizate, cu un mic efort suplimentar, astfel încît să îndeplinească, pe lîngă funcțiile lor de bază, și funcția de conversie a energiei valurilor.

În acest scop, în digurile respective se propune amenajarea unor incinte a căror geometrie favorizează formarea unor coloane de apă oscilante care obligă aerul să acționeze niște module generator prevăzute cu turbine unisens amplasate la partea superioară a structurii.

Lucrarea prezintă pe scurt rezultatele unor experimente efectuate pe Marea Neagră și soluția constructivă a unei microcentrale care se poate amenaja într-un dig alcătuit din chesoane.

Harbour and coast protection dams can be built thus as to provide along their basic functions also the funcion of wave energy conversion.

To this purpose the dams should form some enclosures whose geometry should favour the building of some oscillating water columns which compel the air to activate generator modules endowed with monodirectional turbines locates in the upper side of the structure.

The paper shortly presents results of experiments carried out on the Black See and the constructive solution of a microplant which can be built within a caissons dam.

Introducere

Captarea și conversia energiei valurilor a intrat, aproximativ din anul 1970, într-o fază de concretizare a posibilităților de aplicare. Însă, trecerea la utilizarea pe scară largă a energiei valurilor este frînată din cauză că nu s-a impus încă un principiu de conversie unanim acceptat și recomandat, existînd nenumărate soluții care se mai experimentează și astăzi [1]. Pentru a alege soluția optimă trebuie să avem în vedere deziderateleinstalațiilor de conversie, și anume:

— eficiență ridicată;
— plajă largă de funcționare;
— fiabilitate și anduranță ridicate;
— investiții reduse.

Din punctul de vedere al principiului de funcționare, instalațiile de conversie a energiei valurilor pot fi clasificate în două mari categorii [2]:

1 — instalații în care, după prima treaptă de conversie, se obțin forțe mari și viteze de deplasare mici;

2 — instalații în care, după prima treaptă de conversie, se obțin forțe mici și viteze de deplasare mari.

Teoretic, în ambele categorii de instalații se obțin aceleași puteri, întrucît puterea dezvoltată într-un sistem dinamic este egală cu produsul dintre forță și viteză, dar în timp ce în primul tip de conversie, în care forțele fiind mari sînt necesare structuri cinematice cu secțiuni mari, amplificatoare de viteză cu multe trepte și generatoare lente supradimensionate, în cel de al doilea tip de conversie, vitezele de deplasare fiind mari, sînt necesare structuri cinematice cu secțiuni reduse și generatoare economice de mare viteză. Apare evident că instalațiile din a doua categorie pot satisface mai ușor deziderateleenumerate.

O problemă deosebită este problema investițiilor. Indiferent de principiul adoptat instalațiile de conversie a energiei valurilor au nevoie de structuri de bază pentru amplasarea echipamentelor. Aceste structuri necesită investiții care sînt mult mai mari față de investițiile pentru echipamentele de conversie. Devine logic raționamentul ca centralele de conversie a energiei valurilor să fie incluse în digurile maritime de protecție a țărmului care preiau astfel costurile structurilor de bază [3].

În urma analizei a numeroase concepții de conversie a energiei valurilor s-a ajuns la concluzia că principiul hidropneumatic, care face parte din a doua categorie de instalații de conversie, întrunește mai multe avantaje. Acest principiu poate fi simplu caracterizat prin transformarea, în interiorul unei incinte, a presiunii hidrostatice a valurilor în presiune dinamică a aerului care este vehiculat printre palele unei turbine. Conform acestui principiu apa din incintă, care formează o coloană oscilantă , se comportă ca un piston acționat de valuri.

Sistemul hidropneumatic este convenabil întrucît:

— este simplu, fiind alcătuit numai din două elemente principale: structura de bază și un modul generator;

* Ing. Gheorghe Olaru — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică, București, ing. Petru Dan Lazăr — Trustul Antrepriză Generală de Construcții Hidroenergetice București.

— permite utilizarea unor generatoare economice de viteză mare, evitînd amplificatoarele de viteză;
— nu utilizează nici un fel de componente active în apă care să fie supuse acțiunii de corodare;
— este sensibil, turbina funcționînd la valuri foarte mici;
— necesită cantități minime de material față de celelalte sisteme cunoscute;
— comportă cel mai mic risc de defectare, neavînd părți active supuse acțiunii distructive a valurilor.

De altfel trebuie să recunoaștem că acest principiu stă la baza a sute de geamanduri și microcentrale marine realizate de firma japoneză Ryokuseisha [4].

La noi în țară verificarea acestui principiu s-a efectuat pe Marea Neagră în anul 1984, de ICPE [5].

Lucrarea de față are ca scop prezentarea unei propuneri de dig captator de energie, avînd în vedere realizările pe plan mondial în acest domeniu și experimentările efectuate în țara noastră.

1. Experimentări efectuate pe Marea Neagră

Pentru testarea principiului hidropneumatic și a turbinei unisens necesare s-au realizat două modele de instalații.

Primul model a fost o geamandură (fig. 1) alcătuită din cilindru, flotor, modul generator, lampă de semnalizare, lest, ancoraje.

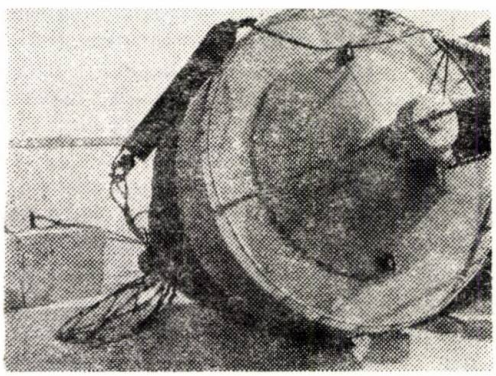


Fig. 1. Geamandură de semnalizare alimentată cu electricitate obținută prin conversia energiei valurilor.

Funcționarea este simplă. Atunci cînd un val ridică geamandura, se produce o depresiune a aerului cuprins între nivelul apei din cilindru și capacul acestuia, care duce la absorbirea unei cantități de aer din exterior printre palele turbinei amplasată la partea superioară a cilindrului. În timpul coborîrii geamandurii aerul este expulzat, acționînd din nou turbina. La valuri de circa 35 cm turbina realizată avea o frecvență de rotație de 2120 min^{-1}.

La mers în sarcină, la aceeași înălțime a valurilor s-au obținut 2,60 W, suficienți pentru alimentarea lămpii de semnalizare. Geamandura a fost amplasată la circa 70 m de digul N—E al portului Mangalia.

Caracteristici:
— diametrul geamandurii . . . .2,20 m
— volumul flotorului . . . . . .2,00 m^3
— diametrul turbinei . . . . .220 mm
— puterea nominală a generatorului . . . . . .5 W
— frecvența nominală de rotație 3000 min^{-1}

Al doilea model a fost o microcentrală marină realizată din tablă și amplasată direct pe fundul mării (fig. 2). Instalația era alcătuită dintr-o incintă [6], cu peretele din față și cel din spate curbi și înclinați, doi pereți laterali verticali și un modul format dintr-o turbină unisens [7] și un generator.

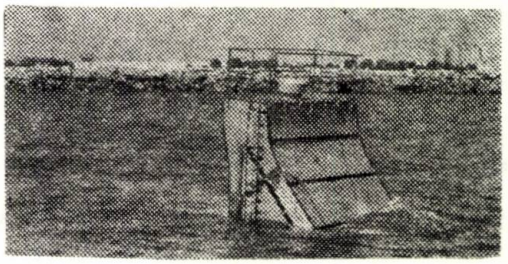


Fig. 2. Microcentrală marină bazată pe principiul hidropneumatic de conversie a energiei valurilor.

La mers în gol, la valuri de circa 20 cm, turbina avea o frecvență de rotație de 2150 min^{-1}.

La mers în sarcină, la aceleași valuri, s-a obținut o putere de 75 W. Energia obținută s-a utilizat la iluminare. Instalația a fost amplasată la circa 50 m de baza digului N—E a portului Mangalia.

Caracteristici:
— înălțime totală . . . . . .7,50 m
— lungimea activă . . . . . .3,50 m
— diametrul turbinei . . . . .450 mm
— puterea nominală a generatorului . . . . . .500 W
— frecvența nominală de rotație a turbinei și generatorului 3000 min^{-1}
— tensiunea nominală . . . . 24 V

Experimentările efectuate au arătat că principiul hidropneumatic se verifică și turbinele unisens utilizate funcționează corect și eficient.

2. Soluție constructivă pentru un dig maritim captator de energie

Realizarea unui dig maritim captator de energie este în prezent o problemă mai ușoară, avînd în vedere posibilitatea construirii acestuia din chesoane de beton armat turnate pe țărm [3]. În acest caz problema se reduce la realizarea în aceste chesoane a incintelor necesare captării valurilor. În figura 3 este reprezentată o sec-

țiune transversală printr-un cheson de dig transformat în centrală pentru conversia energiei valurilor.

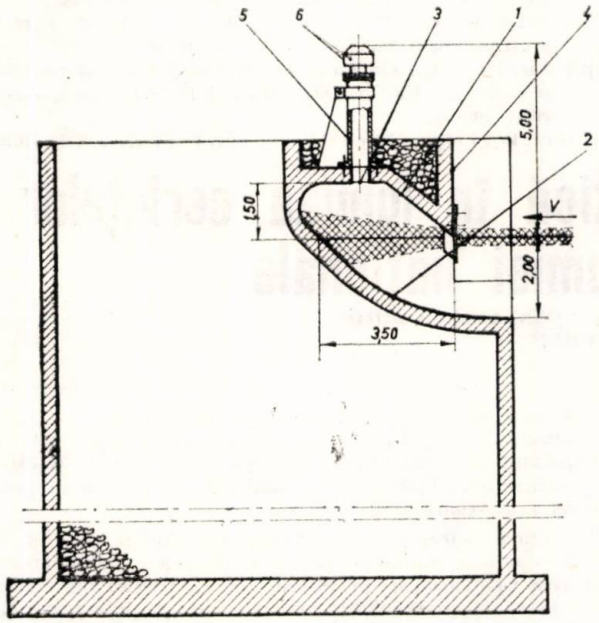


Fig. 3. Secțiune transversală printr-un cheson al unui dig maritim captator de energie.

În această secțiune incinta are un perete anterior înclinat **1**, un perete posterior înclinat și prelungit sub apă **2** și un plafon situat la circa 1,50 m deasupra nivelului apei, prevăzut cu un orificiu **3**. În față incinta are un perete de protecție **4**. Deasupra orificiului din plafon este montat un tub **5** prevăzut la partea superioară cu un modul generator **6**, alcătuit dintr-o turbină unisens [8] cuplată la un generator sau la un compresor. Peretele posterior al incintei este înclinat la 40° față de orizontală pentru a favoriza oscilațiile coloanei de apă din interior.

Pentru determinarea puterii instalate s-au luat ca bază valorile înălțimii medii lunare ale valurilor Mării Negre pentru un an obișnuit [9]. Pe baza acestor date s-a determinat înălțimea medie anuală a valurilor, care a rezultat :

$$h_m = 0{,}46 \text{ m}.$$

Pentru înălțimea medie de calcul s-a luat : $h_c = 1{,}50\ h_m$ și a rezultat $h_c = 0{,}699$ m.

Puterea brută de calcul a valurilor rezultă din relația lui Gerstner :

$$P_v = 1000\ h_c^2 TL \quad [\text{W}],$$

unde : h_c este înălțimea medie de calcul, m ;
T — perioada valurilor, s ;
L — lungimea frontului de valuri, m.

Pentru $h_c = 0{,}699$ m, $T = 9{,}9$ s și $L = 1{,}00$ m rezultă :

$$P_v = 4837 \text{ W/m}.$$

Puterea specifică nominală instalată rezultă din relația :

$$P_i = \eta P_v \quad [\text{W}],$$

unde $\eta = 0{,}30$ este randamentul global estimat al instalației.

Rezultă : $P_i = 1500$ W/m.

La o lungime de 5,00 m a unui tronson de cheson se obține o putere pe unitatea generatoare :

$$P_N = 7{,}50 \text{ kW}.$$

Digul urmează a fi alcătuit din mai multe chesoane alăturate. Generatoarele electrice ale chesoanelor pot fi cuplate în paralel la o rețea comună. În caz că turbinele acționează compresoare, acestea pot stoca energia în rezervoare special amenajate la presiunea de 10—50 bari. Aerul sub presiune poate fi utilizat ca atare sau poate acționa grupuri electrogene dotate cu motoare pneumatice.

Puterea captată a digului se poate practic dubla dacă acesta este echipat și cu generatoare eoliene. Această soluție este avantajoasă întrucît se pot capta curenții de aer din largul mării și se poate utiliza mai bine suprafața digului.

Caracteristicile tehnice ale digului maritim captator de energie sînt :

— lungimea digului . . . . . 1050 m
— puterea totală instalată . . . 3 MW
— puterea specifică instalată . . 3 kW/m

Caracteristicile instalațiilor pentru captarea energiei valurilor sînt următoarele :

— puterea totală a generatoarelor . . . 1,50 MW
— puterea nominală a generatoarelor 7,50 kW
— numărul generatoarelor . . . . . 200 buc.
— investiția totală aproximativă 10 mil. lei.

Caracteristicile instalațiilor pentru captarea energiei eoliene :

— puterea totală instalată : 1,50 MW
— puterea nominală a generatoarelor: 150 kW
— numărul generatoarelor eoliene : 10 buc.
— investiția totală aproximativă : 60 mil. lei.

Din calculele efectuate rezultă că la aceeași putere instalată investițiile pentru energia valurilor sînt mult mai mici față de investițiile pentru energia eoliană.

Concluzii

Se consideră oportună și eficientă construirea pe Marea Neagră a unui dig maritim experimental captator de energie prevăzut cu instalații de conversie a energiei valurilor și a energiei eoliene.

Avînd în vedere realizările pe plan mondial și experimentările efectuate în țara noastră se optează pentru construirea instalațiilor de captare și converse a energiei valurilor, pe principiul hidropneumatic, utilizînd turbine de acționare unisens.

Bibliografie

[1] Volșanik, V. V., Matușevski, G. V. *Energhia morskih vetrovih voln i prințipi ee preobrazovania.* In : Ghidrotehniceskoe Stroitelistvo nr. 4/1985.

[2] Tănăsescu, F. T. ş.a. *Conversia energiei. Tehnici neconvenţionale.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1986.
[3] Lazăr, D. P. *Centrala electrică marină Constanţa — evoluţia studiilor pentru pilotul experimental.* In : Hidrotehnica vol. 33, nr. 2/1988.
[4] * * * *Navigation Aids.* Catalog No. EW — 004— —84—04, Japonia.
[5] Nistor, G., Olaru, G. *Un nou experiment la Marea Neagră.* In : Ştiinţă şi Tehnică, nr. 2/1985.
[6] Olaru, G., Tănase, S., Nistor, G. *Instalaţie pentru conversia energiei valurilor.* Brevet de invenţie RSR nr. 82788/1983.
[7] Olaru, G. *Maşină motrică pentru utilizarea energiei valurilor.* Brevet de invenţie RSR nr. 79184/1983.
[8] Olaru, G., Nistor, G., Lazăr, D. P. *Turbină unisens.* Brevet de invenţie RSR nr. 93057/1987.
[9] Iulian, C., Lazăr, D. P. *Energia valurilor-captare şi conversie.* Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1982.
(Primit la 14 septembrie 1989, acceptat la 13 octombrie 1989).

Proiectarea în hidroenergetică în lumina cerinţelor actuale ale economiei naţionale

Dr. ing. AUREL STĂNUCĂ, dr. ing. CONSTANTIN TARHON, ing. DAN ANDREI*

Descriptori : hidroenergetică, proiectare

În cadrul valorificării resurselor interne ale ţării, amenajarea potenţialului hidroenergetic deţine un rol important, fiind satisfăcute atît cerinţe energetice, cît şi ale altor sectoare : irigaţii, alimentări cu apă potabilă şi industrială, protecţia contra viiturilor, navigaţia ş.a.

Sînt prezentate concepţiile directoare în activitatea de proiectare hidroenergetică şi acţiunile întreprinse pentru o valorificare a macropotenţialului şi a micropotenţialului hidroenergetic, în condiţii de siguranţă, fiabilitate şi eficienţă corespunzătoare şi în deplină concordanţă cu cerinţele economiei naţionale.

O parte însemnată a articolului este consacrată soluţiilor tehnice noi în domeniul construcţiei barajelor, derivaţiilor şi nodurilor de presiune, care au permis o reducere sensibilă a investiţiilor şi o mai armonioasă încadrare în schemele hidrotehnice cadru, complexe. Sînt, de asemenea, subliniate preocupările actuale pentru sistematizarea şi optimizarea echipamentelor hidroelectrice.

Within the trend to revaluate the country's internal resources, the hydroenergy potential harnessing helds an important part, meeting energy demands as well as other branches : irrigations, drinking and industrial water supplies, flood protections, shipping a.s.o.

Leading conceptions of hydropower design activity as well as actions aiming at the use of the micro-and macrohydropower potential are presented. These activities and actions will meet safety, reliability and efficiency requirements and agree to country-wide economy trends.

An important part of the paper describes new technical solutions in the field of dams, derivation and pressure nodes construction which enabled the considerable decrease of investments and a better subscribing to main complex hydrotechnical projects. Present efforts of modernizing and optimizing hydropower equipment are underlined as well.

1. Prevederile „Programului de realizare de CHE" şi sarcinile proiectării

Potenţialul hidroenergetic tehnic amenajabil al cursurilor de apă inventariat pe baza schemelor de amenajare întocmite de I.S.P.H. pe sectoarele avînd, în general, un potenţial teoretic unitar de peste 200 kW/km — macropotenţialul — se cifrează la o producţie medie de energie de circa 38 TWh/an, realizată în CHE însumînd o putere instalată în jur de 14000 MW. Dunărea şi cele mai mari bazine hidrologice au următoarele cote de potenţial : Dunărea — partea română — 31,7%, Siret 12,8%, Mureş 12,7%, Olt 12,2%, Tisa + Someş 9,9%. În aceste bazine s-au realizat cele mai importante CHE din ţară : Stejaru pe Bistriţa —în bazinul Siret ; Retezat pe Rîul Mare, Gilceag şi Sugag pe Sebeş — în bazinul Mureş ; Ciunget şi Brădişor pe Lotru, cascada Olt — în bazinul Olt ; Mărişelu pe Someş.

Micropotenţialul hidroenergetic, corespunzător în general sectoarelor de curs de apă cu potenţial teoretic unitar sub 200 kW/km, însumează aproximativ 2 TWh/an şi o putere instalată de 1000 MW fiind valorificat în amenajări cu puteri mai mici de 3,6 MW.

În total, micropotenţialul şi macropotenţialul cursurilor de apă din România este de circa 40 TWh/an, cu o putere instalată de aproximativ 15000 MW.

Din acest potenţial, se estimează că pînă la sfîrşitul anului 1990 puterea instalată a amenajărilor hidroelectrice macropotenţiale în funcţiune se va ridica la 5610 MW, cu o energie medie productibilă de 16,2 TWh/an, iar a amenajărilor micropotenţiale la 227 MW, cu o energie medie de 0,74 TWh/an.

Programul de realizare de CHE prevede amenajarea în intervalul 1991 — 1995 a unei puteri instalate de 1250 MW cu o energie medie productibilă de 2,5 TWh/an, din care — din macropotenţial — peste 70 de CHE totalizînd 1170 MW şi 2,25 TWh/an. Se remarcă centralele Olt — Făgăraş, Buzău — Nehoiaşu şi Cireşu, cascadele Strei aval, Olt defileu, Buzău aval şi Bistriţa-Neagra Borca.

Realizarea acestui important program de lucrări, care se înscrie în efortul de modernizare a economiei naţionale, implică şi activitatea de proiectare hidroenergetică. Pentru punerea în funcţiune a noilor obiective la parametrii prevăzuţi se vor adopta soluţii tehnologice noi pentru realizarea de centrale hidroelectrice de mare şi mică putere, utilizînd echipamente cu randamente superioare. Vor fi investigate noi posibilităţi şi soluţii de valorificare a ener-

* Dr. ing. Aurel Stănucă, dr. ing. Constantin Tarhon, ing. Dan Andrei — Institutul de Studii şi Proiectări Hidroenergetice Bucureşti.

giei apelor, inclusiv pe cursurile de apă cu potențial energetic mai scăzut. Se va aprofunda departajarea domeniilor de folosire a diferitelor soluții constructive și tehnologii de execuție în scopul obținerii unor efecte economice optime.

2. Concepții directoare pentru o mai intensă valorificare a potențialului hidroenergetic

În cadrul valorificării resurselor interne ale țării, amenajarea potențialului hidroenergetic deține un rol de prim ordin, urmărindu-se atît satisfacerea cerințelor energetice, cît și pe acelea ale altor sectoare ale economiei, cum sînt : irigațiile, alimentările cu apă potabilă și industrială, atenuarea viiturilor, piscicultura controlată, navigația.

Este de așteptat ca într-un viitor apropiat centralele hidroelectrice să recapete rolul pe care în mod firesc trebuie să-l joace în cadrul sistemului energetic, în concordanță cu modificările care survin în structura consumului de energie electrică, urmare atît a creșterii consumului casnic — și în general a vîrfurilor de sarcină — cît și a măsurilor de normalizare a funcționării sistemului energetic. Astfel, va crește contribuția centralelor hidroelectrice la asigurarea dinamicilor sezoniere, săptămînale și diurne, ale cererii de energie electrică, participarea lor ca centrale reglante și de intervenție și în operațiunile de conlucrare cu alte sisteme energetice naționale.

Hidrocentralele realizate pînă în prezent au beneficiat, în general, de condiții de potențial și de teren deosebit de favorabile. Condițiile de valorificare a potențialului care urmează a fi amenajat sînt mai dificile decît în trecut : sectoarele de cursuri de apă au un potențial natural mai scăzut, confruntarea cu situațiile geologice și morfologice ridică probleme speciale, creșterea consumurilor de apă este mai accentuată, restricțiile ecologice sînt mai pregnante.

Pentru a asigura o valorificare a potențialului hidroenergetic în condiții de siguranță, fiabilitate și eficiență corespunzătoare, în concordanță cu cerințele economiei naționale, s-au întreprins unele acțiuni, precum :

— restrîngerea schemelor cu o concentrare intensă a debitelor și căderilor în centrale de mare putere doar la situații speciale, justificate de cerințele sistemului energetic și ale gospodăririi apelor așa cum, de exemplu, este cazul complexului Parva din zona Vișeu — Iza — Someș ;

— aprofundarea studiilor privind amenajarea potențialului pe cursurile de apă cu debite mari și căderi foarte mici ;

— reducerea suprafețelor ocupate din fondul agricol și silvic prin amenajarea de lacuri de acumulare mai reduse, continuate spre aval de șenalizări de albie pentru mărirea căderii, comune pentru debitele uzinate și pentru debitele de ape mari, amplasarea amenajării cît mai mult posibil în albia majoră sau pe terenuri neproductive ;

— scoaterea de sub inundațiile anuale ale unor terenuri din albia majoră ;

— valorificarea mai deplină în centralele hidroelectrice a stocurilor de pe cursurile de apă ;

— intensificarea amenajării micropotențialului ;

— armonizarea intereselor energetice și ale celorlalți beneficiari ai apei în cadrul amenajărilor complexe. Concordarea lucrărilor pentru aceste amenajări cu prevederile de dezvoltare din alte compartimente ale economiei naționale, cum sînt : asigurarea unor rezervoare pentru irigații, alimentarea cu apă a centralelor nucleare, a consumatorilor industriali etc. ;

— valorificarea energetică a debitelor prelevate pentru consumurile de apă și servitute și a căderilor create de lucrările hidrotehnice ale altor beneficiari ;

— mărirea capacității de producție a unor centrale existente, prin supraechipare, creșterea căderilor de lucru sau suplimentarea debitelor de apă uzinate, ca de exemplu la cascada Porțile de Fier ;

— adoptarea unor soluții de amenajare care să scurteze durata execuției lucrărilor sau să permită intrarea eșalonată în funcțiune a capacităților de producție ;

— analizarea unor amplasamente pentru centrale cu acumulare prin pompaj ;

— în domeniul micropotențialului, amenajarea cu precădere a unităților care folosesc căderi de apă rezultate la lucrări executate în alte scopuri (alimentări cu apă și irigații, agrement, bazine compensatoare, baraje sau captări secundare ale unor hidrocentrale mai mari etc.) ;

— evitarea pe cît posibil a dezafectărilor de mijloace fixe în zonă, executarea de lucrări de regularizare a albiei și a malurilor și de protejarea de inundații a terenurilor și localităților limitrofe. Astfel, de exemplu, la Someș pe sectorul Dej-Jibou în decursul etapelor de optimizare a schemei suprafața ocupată s-a redus cu aproape 50%. Toate suprafețele ocupate în final sînt recuperate în circuitul agricol prin amenajarea altor terenuri anterior neproductive. Sînt, de asemenea, amenajate agricol albiile părăsite și terenurile ocupate temporar în timpul execuției. Soluții mai noi, aplicate la unele amenajări, prevăd diguri cu profile foarte dulci spre aval, cu folosirea tuturor materialelor, ajungîndu-se la taluze cu pante de 1 : 4 — 1 :7, cultivabile agricol ;

— corelarea lucrărilor pentru amenajările hidroenergetice cu acelea ale altor amenajări adiacente : lucrări de combatere a excesului de umiditate, lucrări antierozionale din fon-

durile agricol și silvic, regularizări de rîuri și torenți, stabilizări și reduceri de albii, apărări împotriva inundațiilor, refacerea căilor de comunicație.

În paralel cu lucrările pentru valorificarea potențialului natural, ISPH desfășoară o activitate și în domeniul centralelor cu acumulare prin pompaj. La unele centrale în prezent în funcțiune, cum sînt: Lotru-Ciunget, Sebeș-Gîlceag și Sugag, Drăgan-Remeți s-au proiectat și executat deja stații de pompare în „circuit deschis" pentru suplimentarea debitelor captate. În ceea ce privește CHE cu acumulare cu pompare „în circuit deschis", adică cu „pompaj pur", va continua analizarea posibilităților de promovare a acestora într-un viitor cît mai apropiat. Asemenea amenajări vor putea fi folosite atît intern, cît și pentru sisteme energetice cu care este interconectată țara noastră, în cadrul schimburilor de energie.

3. Soluții tehnice noi în domeniul construcțiilor

3.1. Baraje

O bună parte din barajele proiectate în ISPH au reprezentat performanțe notabile pe plan internațional. Printre acestea: barajul Vidraru de pe Argeș ca înălțime al 5-lea din Europa și al 9-lea din lume la data proiectării; barajul fluvial Porțile de Fier I, cu o înălțime de 67 m și o capacitate de evacuare de peste 20 000 m^3/s; barajul Gura Apelor de pe Rîul Mare Retezat, de 174 m înălțime, din materiale locale cu nucleu de argilă, fundat pe terenuri slabe; barajul Drăgan, cu un „coeficient de îndrăzneală" de 5,75, la înălțimea de 120 m.

Metodele utilizate pentru dimensionarea barajelor și verificarea lor prin calcule sînt la nivelul celor mai evoluate realizări consemnate pe plan mondial, iar în unele situații, în zone de vîrf ale acestui domeniu. Noile metode au fost asimilate creator și completate de către inginerii din ISPH.

Se menționează în mod special asimilarea rapidă a metodelor de calcul bazate pe metoda elementului finit, metode specializate pentru calculul barajelor în arc de formă oarecare, metode de calcul al stării de efort-deformație în baraje din materiale locale, bazate pe relații elasto-vîscoplastice, calcule la solicitări seismice cu și fără păstrarea continuității structurii, calcule de infiltrație în roci stîncoase cu regim turbulent de scurgere, calculul de siguranță la risc prin metode probabilistice.

Din punctul de vedere al soluțiilor constructive și tehnologice, s-au introdus în decursul timpului numeroase noutăți pe plan național, începînd cu barajele din materiale locale cu mască din beton armat sau cu nucleu de argilă, executarea umpluturilor prin vibrocompactare, etanșări în profunzime prin gel-beton sau pereți continui tip ELSE și tip Kelly, pereți continui subțiri; în ultimii ani au fost prevăzute soluții moderne ca execuția măștilor din beton bituminos, beton cu dozaj redus, compactat cu ruloul, betoane masive cu cenuși „zburătoare". Pentru betoanele din corpul barajelor și centralelor, pereele digurilor și etanșările în profunzime s-au utilizat cimenturi cu adaosuri de cenușă de termocentrală.

Pentru consolidarea terenurilor de fundație a digurilor, geotehnic mai slabe și situate în zone cu seismicitate ridicată, s-a aplicat, în premieră națională, tehnologia prin ploturi din balast vibropresat; această tehnologie a fost aplicată la noi în premieră mondială la digurile unor amenajări hidrotehnice.

Sînt, de asemenea, avute în vedere: folosirea fenomenului de autocolmatare naturală la umplerea înceată a lacului; folosirea materialelor naturale nisipoase și prăfoase naturale ca materiale semietanșe.

La realizarea lucrărilor s-au introdus adesea materiale noi, asimilate și produse în țară, uneori pe baza comenzii ISPH, dintre care menționăm: benzile de etanșare din materiale plastice (înlocuind tabla de cupru), materiale pentru umplerea rosturilor tip BARAPAL, chituri tiocolice, rășini sau polimeri sintetici de etanșare, protecție sau consolidare a lucrărilor, geotextile în locul filtrelor de nisip.

În strînsă colaborare cu executantul lucrărilor de construcții, proiectanții au contribuit la introducerea unor utilaje noi și a tehnologiilor corespunzătoare: sistemul de utilaje pentru execuția măștilor din beton armat și beton bituminos, executarea excavațiilor prin predecupaj utilizînd foreze percutant-rotative.

Toate aceste eforturi în domeniul concepției, al soluțiilor constructive și tehnologice au dus la un echilibru rațional între siguranța și economicitatea lucrărilor. Astfel, pentru baraje din materiale locale pantele paramentelor au crescut de la 1 : 1,7 la 1 : 1,55 pentru un grad de intensitate seismică de 7—7 1/2 și de la 1 : 2 la 1 : 1,8 pentru o intensitate seismică de 8 — 8 1/2. Pentru barajele de tip stăvilar fundate pe terenuri slabe, realizarea fundației din beton cilindrat cu dozaje de ciment scăzute permite economii la beton armat de 30 — 40% și de ciment de 7 — 15%, precum și reducerea manoperei cu 20 — 25%. Măști din beton bituminos în locul celor din beton armat la baraje din anrocamente permit economii de circa 3000 t ciment și 2000 t oțel-beton la un baraj de înălțime medie de 70 — 80 m, precum și reducerea manoperei cu 10 — — 15%.

3.2. Derivații și noduri de presiune

În cadrul amenajărilor hidroenergetice derivațiile se întîlnesc sub formă de: galerii sau conducte, de aducțiune sau de fugă; galerii, conducte sau puțuri forțate; canale de aducțiune sau de fugă.

Gama de galerii proiectate de ISPH este diversă, acoperind atît lucrări din schemele de amenajare hidroenergetice, cît şi lucrări pentru alte folosinţe (tunelul rutier Bîlea-Capra, tronsoane pentru metrou etc.).

Concepţia de proiectare a căptuşelii galeriilor a evoluat de la soluţia aplicată la Bicaz căptuşeală exterioară din beton armat pentru preluarea împingerii muntelui şi căptuşeală, interioară din beton armat pentru preluarea presiunii interioare a apei, la soluţiile actuale situate la nivelul de vîrf al tehnicii mondiale, care, pentru aducţiunea principală a CHE Rîul Mare-Retezat, cu pi = 170 mH_2O prevăd: sprijinirea elastică pentru preluarea împingerii muntelui, realizată din ancore betonate, plasă metalică şi şpriţ beton; căptuşeală din beton armat precomprimat prin injecţii, de grosime minimă constructivă (30 cm la un diametru interior de 5 m). Această galerie prin mărimea solicitării de 4340 N/cm (căptuşeală din beton) deţine un record în Europa. Dinamica între aceste niveluri calitative este ilustrată cantitativ de evoluţia parametrilor specifici în tabelul 1.

Tabel 1

Parametrii	U/M	Amenajarea		
		Bicaz	Lotru	Retezat
Diametrul interior	m	7,15	5,00	5,00
Presiunea interioară	kPa	696	1245	1736
Căptuşeală exterioară (sprijinire primară)	cm	140±195 (BA)	5—10 (SB)	3—7 (SB)
Căptuşeală interioară	cm	90 (BA)	30 (BA)	30 (BA/ /BS)
Beton/m^2 sect. liberă	m^3	2,12	0,38	0,25*
Ciment/m^2 sect. liberă	kg	640	280	280
Oţel-beton/m^2 sect. liberă	kg	120	30	30
Lemn de mină/m^2 sect. liberă	m^3	0,62	0,20	0,05*

BS-beton simplu; BA-beton armat; SB — spriţ beton

*) s-au redus supraprofilele prin excavarea cu maşina de forat la secţiune plină tip ROBINS

În prezent la dimensionarea căptuşelii galeriilor se are în vedere: adoptarea unei grosimi minime constructive de căptuşeală din beton simplu sau slab armat; armarea căptuşelilor din beton cu plase sudate; asigurarea unui contact intim al căptuşelii cu roca din jurul galeriei prin efectuarea injecţiilor de umplere a spaţiilor libere, a injecţiilor de consolidare-precomprimare care asigură comportarea elastică a rocii fisurate de exploziile de excavare, cît şi precomprimarea căptuşelii; controlul relaxării şi deformării în timp a rocii pe baza măsurătorilor „in situ" şi dimensionarea în consecinţă a căptuşelii; adoptarea pentru toate tipurile curente de roci a sprijinirii primare elastice formată din ancore betonate, plasă şi şpriţ beton.

Ca urmare a ameliorării tehnologiilor de execuţie, în alegerea traseelor galeriilor au început să predomine din ce în ce mai mult criteriile funcţionale şi mai puţin cele impuse de execuţie. Creşterea gradului de mecanizare a execuţiei, iar în prezent folosirea maşinilor de forat la secţiune plină, vor asigura avansamente la excavare superioare tehnologiei clasice, permiţînd mărirea treptată a lungimii medii a tronsoanelor între ferestrele de atac, de la 680 m la CHE Moroieni la 5600 m la CHE Retezat.

Rezultate remarcabile au fost obţinute şi în domeniul galeriilor şi puţurilor forţate. Dintre realizările mai importante menţionăm galeria forţată de la Lotru, care din punctul de vedere al solicitării în căptuşeală (19 000 daN/cm) se situează pe locul doi în Europa.

Ca realizare remarcabilă este de notat şi progresul tehnologic în execuţia castelelor de echilibru. Pornind de la castelul de la Stejaru cu cămăşuială exterioară realizată în puţuri şi cămăşuială interioară blindată s-a ajuns în prezent — ca de exemplu la Şugag şi Retezat — la execuţia prin metoda cu suitor forat şi, prin aplicarea căptuşelilor precomprimate, la renunţarea în totalitate la blindare.

Efectul îmbunătăţirii soluţiilor tehnice şi tehnologice în cazul derivaţiilor amenajărilor de joasă cădere este semnificativ ilustrat în tabelul 2, prin compararea unor cantităţi de lucrări la aceleaşi tipuri de uvraje pe derivaţie şi la acelaşi debit instalat, din cadrul amenajărilor Argeş aval şi Rîul Mare aval.

Tabelul 2

Uvraje pe derivaţie	Argeş aval			Rîul Mare aval		
	Beton [m^3]	Ciment [t]	Armătură [t]	Beton [m^3]	Ciment [t]	Armătură [t]
Camera de încărcare	7360	1840	74	6130	1530	54
Bazin de liniştire	4250	1060	76	3400	850	51
Descărcător lateral	3320	830	83	2550	640	51

Pentru canale de aducţiune şi fugă s-au folosit protecţii cu peree din beton nearmat în grosime de maximum 15 cm şi s-a redus consumul de bitum pentru rosturi.

La camerele de încărcare și bazinele de liniștire s-a renunțat la ziduri laterale cu suprafețe riglate, înlocuite cu ziduri verticale racordare la canale cu pereu.

Descărcătorii pentru tranzitarea debitelor înlocuiți cu descărcători cu creastă fixă, combinați cu descărcători laterali spre rîu, ceea ce a permis darea eșalonată în funcțiune a treptelor cascadei. Disipatorii de energie din aval de descrescători au fost cuprinși în zidurile laterale ale bazinului.

La rigolele de drenaj și protecțiile spre rîu ale derivațiilor, la amenajările unde a rezultat că este economic, au fost folosite materiale locale. La amenajarea Rîul Mare aval protecția spre rîu este făcută din gabioane și pinteni umpluți cu piatră, iar rigolele de drenaj au protecția mixtă, din prefabricate și piatră.

La centrale subterane s-au îmbunătățit soluțiile constructive. În condiții geologice similare, grosimea la bolta cavernei s-a redus la cheie de la 0,8 m la 0,6 m, iar la nașteri de la 1,4 m la 1,1 m (volumul micșorîndu-se cu 15 — 20%) ca urmare a perfecționării modului de calcul și a tehnologiei de execuție cu angajarea în mai mare măsură a rocii înconjurătoare. Pentru susținerea pereților, s-a trecut de la cămășuiala rigidă din beton armat la susținerea cu ancore betonate, plasă de sîrmă și șpriț beton, iar în situațiile geologice dificile și foarte dificile la utilizarea ancorelor lungi pretensionate.

Un volum din ce în ce mai mare de lucrări se realizează în prezent din elemente prefabricate sau preturnate pe șantier, execuția elementelor care compun structura de rezistență dobîndind un pronunțat caracter industrial.

4. Preocupări actuale în domeniul echipamentelor

Amenajările hidroelectrice prezintă o mare varietate de căderi și debite instalate, îndeosebi amenajările de căderi medii și mari situate în zone colinare și de munte. În această situație hidroagregatele care asigură performanțe tehnice optime au, în general, un caracter de unicat, iar realizarea lor necesită — de fiecare dată-eforturi tehnice și materiale deosebite. Avînd însă în vedere că performanțele hidroagregatelor scad în limite relativ reduse în cazul unor abateri moderate ale parametrilor de lucru de la valorile lor optime, este posibilă reutilizarea hidroagregatelor la amenajări cu caracteristici asemănătoare. Reutilizarea grupurilor a fost frecvent aplicată în special în cazul cascadelor de CHE de joasă cădere echipate cu turbine Kaplan sau Bulb, dar-uneori — și în cazul CHE de cădere medie sau mare, echipate cu turbine Francis.

În sistemul energetic român cele mai multe CHE sînt echipate cu turbine Kaplan verticale : 80 CHE în funcțiune, 25 în execuție, 50 în diverse faze de proiectare.

Avînd în vedere reutilizările frecvente de turbine de tip Kaplan la amenajările de joasă cădere, s-a realizat o tipizare a gamei de turbine Kaplan și a generatoarelor corespunzătoare.

În prezent se depun eforturi pentru tipizarea și perfecționarea agregatelor de tip Bulb de pe Dunăre și Olt.

Un grad și mai ridicat de tipizare a fost realizat în domeniul echipamentelor pentru amenajarea micropotențialului.

Domeniul pentru care s-au tipizat și executat pînă în prezent microhidroagregatele este delimitat de următoarele valori marginale ale principalilor parametri : puterea unitară 2 — — 1200 kW, cădere netă 1,5 — 130 m ; debit unitar 0,1 — 15 m^3/s. În acest domeniu se utilizează următoarele tipuri de turbine : microhidroagregat de largă utilizare (MLU) ; microhidroagregat cu turbină elicoidală și circuit hidraulic în formă de S(EOS) ; microhidroagregat cu turbină Francis orizontală (FO).

Generatoarele, cuplate direct cu turbinele sînt de tip asincron, de asemenea tipizate și, în general, debitează energia la tensiunea de 0,4 kV.

Microhidroagregatele nu sînt prevăzute cu regulatoare de turație sau tensiune.

Față de prototipurile realizate în anii 1984 — — 1985, s-au adus continuu îmbunătățiri pentru mărirea fiabilității.

Ca urmare a cercetărilor privind obținerea unor agregate cu performanțe mai bune, s-a realizat un microhidroagregat echipat cu o turbină Kaplan orizontală (KOS) — cu reglaj simplu sau dublu-care are un randament mai mare decît tipul EOS, deoarece poate funcționa cu debite variabile. În cazul funcționării în rețea izolată, grupul poate fi echipat cu generator asincron sau cu generator sincron și regulator de turație.

5. Obiective pentru etapele următoare

Capacitatea tehnică și competența specialiștilor din ISPH în proiectarea obiectivului hidroenergetic s-a manifestat și prin realizarea unor proiecte bine apreciate pentru lucrări din străinătate (Iran, Algeria, Siria, Turcia) și prin participarea activă la numeroase manifestări științifice și tehnice internaționale, între care Congresele Internaționale ale Marilor Baraje au ocupat un loc important.

În viitor se va continua modernizarea și perfecționarea activității de proiectare.

În legătură cu amenajarea macropotențialului vor fi lansate soluții tehnice care să permită obținerea siguranței și fiabilității lucrărilor în condiții de creștere a eficienței economice.

Vor fi aprofundate căile de coordonare optimă a folosințelor complexe ale apei în contextul conservării condițiilor mediului înconjurător.

Se va dezvolta valorificarea energetică a sectoarelor de râu cu potențial mai redus și a micropotențialului.

Se va extinde sfera de preocupări privind optimizarea exploatării acumulărilor de pe lîngă amenajările hidroelectrice (planuri de exploatare preponderent energetice). Se va continua colaborarea cu ceilalți beneficiari pentru optimizarea exploatării lacurilor cu folosințe multiple și pentru o mai judicioasă integrare a amenajărilor hidroelectrice complexe în planurile cadru de gospodărire a cursurilor noastre de apă.

Vor continua preocupările pentru promovarea centralelor cu acumulare prin pompaj, pentru amplasarea și corelarea execuției acestora cu realizarea programului nuclear și asigurarea creșterii consumului casnic.

(Primit la 10 august 1989, acceptat 5 octombrie 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII COMERȚULUI MONDIAL DE CĂRBUNE

Sub titlul *Coal — a once and future King*? publicația „Uranium and nuclear energy proc. 1 2 th. Inst. Symp. London, 2—4 sept. 1987", London 1988, 283—291, 302—305 (engl)., publică un interesant articol sub semnătura lui Mc. Closkey G. privind comerțul internațional cu cărbune, în care se arată că, în timp ce comerțul cu cărbune cocsificabil a crescut de la 118 mil. t în 1973 la 160 mil. t în 1986, la cărbunele energetic creșterea este considerabilă, de la 59,4 la 176 mil. t; în acest context, ponderea transportului pe mare a crescut, în primul caz, de la 74 la 86%, iar în cel de-al doilea, de la 32 la 79%.

Cel mai important port din lume specializat în descărcarea huilei este amplasat în R.S.A. și poate primi vapoare cu o capacitate de pînă la 150 mii t. Capacitatea anuală a portului este de 40 mil. tone.

Scăderea prețurilor la cărbune a avut loc datorită lărgirii sferei de utilizare a acestuia la toate ramurile economiei naționale, afirmă autorul.

Prețurile cărbunelui * de import în 1986 (în dol./t) față de cele din 1981 (redate în paranteze) au fost pentru diverse țări următoarele:

— Japonia (din Australia)	34 (56)
— Europa (din R.S.A)	37 (58)

În următorii ani vor apărea pe piața mondială noi exportatori de cărbune, ca R. P. Chineză și Columbia, care vor deveni concurenți puternici pentru exportatorii tradiționali, datorită prețurilor mai scăzute, oferite de primii.

În perioada 1988—1995 se vor da în exploatare, pe plan mondial, circa 60 CTE pe bază de cărbune importat, cu o putere totală de 56 000 MW și care vor consuma anual circa 126 mil. t cărbune.

---

* Autorul nu menționează calitatea medie a cărbunelui.

(După: Referativnîi jurnal, 22. Eberghetika, nr. 11/1988 poz. 11 T. 32)

URANIUL CA MATERIE PRIMĂ ENERGETICĂ

Resursele mondiale de uraniu (exceptînd țările socialiste) sînt de 5 mil. tone (raportate la acele zăcăminte la care costul extracției se situează sub valoarea de 130 dolari/kg U); 3,3 milioane tone pot fi extrase la un cost mai mic de 80 dolari/kg.

Cinci milioane tone U sînt echivalente unei cantități de 250 miliarde t.e.p. Circa 36% din resursele de uraniu (exclusiv U.R.S.S., R. P. Chineză și țările socialiste din Europa) se află în S.U.A. și Canada. Fără țările socialiste, producția mondială de uraniu s-a aflat, în perioada 1960—1975, la nivelul de 25 mii t/an, dar în jurul anului 1981 a crescut la 44 mii t/an.

După datele AIEA, în 1990, nivelul mondial al producției totale de uraniu va fi de ordinul a 70 mii t.

(După „Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, nr. 11/1988, poz. 11T75)

ROLUL GAZELOR NATURALE ÎN ENERGETICA U.R.S.S

În anii '70 și începutul anilor '80, creșterea consumului de energie al U.R.SS.S. a fost acoperită în proporție de 45% prin țiței, circa 40% prin gaze naturale (GN), 5—6% cu cărbune, 5% prin energie hidroelectrică și nuclearoelectrică, iar restul de circa 5% pe seama altor resurse. În continuare, în dezvoltarea complexului energetic și de combustibili al U.R.S.S., cel mai important rol îl vor avea GN. Extracția acestora este prevăzută pentru anul 1988 la valoarea de 767 miliarde m³,*, iar în 1990 se prevede o producție de 835—850 miliarde m³. Conform programului energetic, în anul 2000 se va atinge nivelul de 1 trilion m³. Analiza efectuată de Institutul de Cercetări Energetice al Academiei de Științe a U.R.S.S., în colaborare cu GKNT**, a condus la concluzia că pe seama combustibililor gazoși se pot asigura într-o măsură importantă nevoile de combustibili și materii prime ale economiei naționale.

În acest scop este stringent necesară crearea unei rețele ramificate de complexe și instalații industriale, capabile să extragă din gazele naturale milioane de tone de hidrocarburi lichide, care să fie utilizate drept materie primă de natură petrochimică, în scopul alimentării localităților amplasate la mari distanțe de magistralele de transport al gazelor naturale ca, de exemplu, combustibilul de motor. Pînă în anul 1990, de exemplu, se prevede ca un milion de automobile să funcționeze cu gaze combustibile. O altă concluzie constă în aceea că pentru stabilizarea balanței energetice și de combustibili a U.R.S.S. este necesară accelerarea dezvoltării industriei de gaze combustibile.

---

* m³ în condiții normale de temperatură și presiune

** Comitetul de Stat pentru Știință și Tehnologie al U.R.S.S.

Traducere și prelucrare **ing. MIHAI NISTOR**

Evaluarea pierderilor de putere și energie în condițiile funcționării transformatoarelor la abateri ale frecvenței și tensiunii efective de alimentare față de valorile nominale

Ș. l. dr. ing. IOAN FELEA *

Descriptori : pierderi de putere, transformatoare, variații ale frecvenței și tensiunii, optimizare

Abaterea valorii efective a frecvenței și tensiunii de alimentare față de valorile nominale, influențează CPT al transformatoarelor. Pentru efectuarea de aprecieri cantitative asupra nivelului de influență, în cadrul lucrării se evidențiază valorile relative ale tensiunii și frecvenței (u , f) în relațiile de calcul al pierderilor de putere activă și reactivă, precum și în relațiile de calcul al abaterilor tuturor categoriilor de pierderi de putere și energie față de valorile de referință ($u = f = 1$), la același factor de încărcare (β). Variabilele (u, f) sînt puse în evidență și în cadrul relațiilor de calcul al factorului de încărcare (β_m) pentru care randamentul transformatorului este optim și respectiv relația de stabilire a puterii (S_e) pentru care se justifică economic comutarea între starea cu rezerva activă, practicabile, în cazul configurației „2×100%". Aplicînd criteriul „pierderi minime de putere", în lucrare se indică o metodă de coordonare pe cale analitică sau grafo-analitică a tensiunii de lucru a transformatoarelor și stațiilor de transformare funcție de valorile variabilelor (f, β). Aspectele teoretice dezvoltate în lucrare sînt concretizate printr-o aplicație referitoare la stația de transformare a unei întreprinderi constructoare de mașini.

Voltage frequency deviation versus rated values affect transformers power losses. In order to carry out quantitative evaluation on the influence level, the paper outlines relative voltage and frequency values (u, f) within real and reactive power losses as well as within calculation relations of all power and energy losses categories versus reference values ($u = f = 1$) for the same loading factor (β). Variables (u, f) are outlined within loading factor (β_m) calculation relations for which the transformer efficiency is optimal and versus the power assertion (S_e) relation, respectively, for which case an economic justification is given for switching between passive reserve state and active reserve state, appliable, in the case of configuration „2×100%". Applying the criterion „minimal power losses" the paper indicates an analytical or grapho-analytical co-ordination method of transformers and transformer substations operation voltage function of variables values (f, β). Theoretical aspects are demonstrated by a practical application within the transformer substation of a machine manufacturing factory.

Power and Energy Losses Evaluation During Transformer Operation in the Presence of Voltage and Frequency Deviations Versus Rated Values

(Condensed from the paper in Romanian)

This report constitutes one of the concerns for setting up energetic and economic values for types and categories of technological elements and subsystems, regarding their operation at variable frequency and voltage values. The outlining within the mathematical model of variables: u — relative (p.u.) working voltage; f — relative (p.u.) frequency and β — loading factor, enables as well to establish optimal „conjuncture" values of some variables function of the others.

The analytical expression of the surveyed quantities, referring to transformers, should be based on the following considerations: influence of the voltage drop on the magnetical induction values is neglectable, the transformer windings number is maintained unchanged, the rated parameters are known (ΔP_{W_n}, ΔP_{F_n} — rated power losses within windings and magnetic circuit: ΔP_{D_n}, ΔQ_{D_n} — rated active and reactive power losses within the dilectric S_n, U_n — rated power and voltage: i_{on}, u_{kn} — no-load working current and short-circuit voltage — rated (p.u.) values).

Actual losses (with u, f, β — variables) of power losses (ΔP_W, ΔP_F, ΔP_D, ΔQ_D) of no load working (i_0) and short-circuit voltage (u_k) are expressed by relations (1) and (3) (u_{an} — active, rated component of short-circuit voltage). Total active (ΔP) and reactive (ΔQ) losses for one transformer, „N" different transformers and „N" identical transformers, respectively, can be evaluated on the bases of relations (4), (5) and (6), respectively, (S — apparent power absorbed on secondary buses), while by relations (7) and (8) total equivalent active power losses (ΔP_{tj}) and energy losses during an interval (T, ΔW_T) can be evaluated.

Deviation values [$\delta(\Delta V)$] of different quantities, during actual regime (ΔV), versus the respective quantities values during the reference regime ($\Delta V_r \triangleq u = f = 1$) are interesting for comparative analyses.

* Ș.l. dr. ing. Ioan Felea Institutul de subingineri, Oradea.

Relations (10) express – for example – deviations of quantities referring to „N" identical transformers.

The second part of the paper is concerned by certain specifical optimisation aspects. Expressions of the loading factor with and without considering reactive power losses (β_m, β'_m) and expressions of apparent powers (S_e, S'_e) at which power losses are minimal are given. Similarly, applying the criterion „minimal power losses" the approximate relative voltage calculation relation (u'_m) is deduced for the case of „N" identical transformers and for a transformer sub-station ($U'_{m\,ST}$), respectively, with N_I transformers or transformer groups operating independently. A grapho-analytical method (Figure 1) is presented in this sense: it indents the establishing of the exact relative voltage value (U_m, $U'_{m\,ST}$), at which power losses are minimal (λ – energetic reactive power equivalent). The expression of optimal values of the mentioned quantities is performed without considering dielectrical losses.

The first part of the application is meant to support the hypothesis of the voltage drop influence on the magnetical induction as being neglectable. Further, quantitative evaluations referring to transformers belonging to the sub-station scheme from Figure 2 are evaluated. Values of losses deviations within windings $[\delta(\Delta P_W)_T]$ magnetic circuit $[\delta(\Delta P_F)_T]$, reactive $[\delta(\Delta Q)_T]$, total power losses $[\delta(\Delta P_t)_T]$ and energy $[\delta(\Delta W)_T]$, specified in Table 3, correspond to optimal configurations established by applying the criterion „CTA" [6]. Besides deviation values of actual variables values (u, f, β), resulted by the discretization of the interval (T = = 24 h) in steps of 0.5 h, Table 3 also presents deviation values for „half-reference" cases ($u = 1$; f = var. and $f = 1$; u = var.). Optimal loading factor and apparent power values are indicated in Table 4, while optimal values of relative voltage, for transformers units and sub-stations are given in Table 5 and Figure 5. Evaluations were carried out for the values of variables (u, f) represented in Figures 3 and 4.

Main conclusions to this study are: it is possible to set up a mathematical, programmable model for the transformers power losses evaluation at (u, f, β) – variables; the mathematical model enables the operative evaluation of power and energy losses deviations of the variables values (u, f), versus the reference values ($u = f = 1$), as well as the determination of optimal values of some variables function on the others, applying the criterion „minimal losses"; quantitative analyses enable to establish orders of magnitude of the deviations as well as the fact that optimal voltage values can be reached at normal loading factor values ($\beta \geqslant$ $\geqslant 0.3$) even at large frequency deviation ($f = 0.94$).

Funcţionarea de durată a SEN şi implicit a sistemelor energotehnologice dependente, la frecvenţă subnominală reclamă preocupări privind efectele energetice şi economice ale stării respective [4, 6, 11, 15, 17]. Cu toate că aspectul referitor la variaţiile lente ale tensiunii îşi găseşte o reflectare fenomenologică şi matematică adecvată [1, 2, 4, 9, 16], care vizează majoritatea tipurilor de elemente ale SEN şi sistemelor electroenergetice industriale (generatoare, transformatoare, linii electrice, receptoare), totuşi şi în acest sens sînt necesare eforturi privind stabilirea de indicatori energetici (consumuri energetice specifice) şi economici (daune specifice), pe tipuri şi categorii tehnologice de elemente şi subsisteme. Atingerea acestui deziderat implică atît aplicarea coroborată a modelelor deterministe şi probabilistice, cît şi colaborarea adecvată între energeticieni şi tehnologi.

Deşi în ultima perioadă se constată intensificarea preocupărilor privind consecinţele funcţionării la frecvenţă subnominală [2, 4, 6, 11, 13, 17], nivelul de dezvoltare al acestei stări se situează sub cel referitor la valoarea efectivă a tensiunii atît sub aspect teoretic, cît şi aplicativ. Tratarea conformă cu evoluţia reală – simultană – a aspectelor frecvenţă-tensiune efectivă, este profitabilă atît în sensul stabilirii unor indicatori cu valori certe, cît şi cu privire la depistarea „optimului de conjunctură" prin coordonarea tensiunii după frecvenţă şi gradul de încărcare. Detalierea aspectelor menţionate cu referire la transformatoarele electrice constituie obiectul prezentei lucrări.

1. Evidenţierea variabilelor (u, f) în relaţiile de calcul al pierderilor de putere şi energie

Relaţiile de calcul se vor scrie avînd în vedere următoarele considerente:

– variabilele care permit rezolvări mai facile sînt valorile relative ale tensiunii ($u = U/U_n$) şi frecvenţei ($f = F/F_n$);

– influenţa căderii de tensiune asupra valorii inducţiei şi a mărimilor dependente este neglijabilă (a se vedea exemplificarea numerică);

– raportul de transformare al transformatorului (raportul numărului de spire) se menţine neschimbat;

– se cunosc parametrii nominali (la $u = f = 1$) ai transformatorului: ΔP_{Wn}, ΔP_{Fn} – pierderile nominale de putere în înfăşurări şi circuitul magnetic [kW];

S_n – puterea nominală [kVA];

i_{on}; u_{kn} – curentul de mers în gol şi tensiunea de scurtcircuit (valori nominale) [%];

U_n, U – valoarea nominală şi valoarea curentă a tensiuni efective [V, kV];

F_n, F – valoarea nominală şi respectiv valoarea curentă a frecvenţei [Hz].

Se cunoaşte, de asemenea, factorul de încărcare ($\beta = S/S_n$, S fiind puterea aparentă în secundarul transformatorului [kVA]).

În aceste condiţii, avînd în vedere relaţiile aplicate în studiul teoretic şi proiectarea transformatoarelor [3, 8, 12, 14], modelarea matematică a influenţei tensiunii asupra pierderilor de putere [1, 4, 9, 15, 16] şi respectiv bilanţul energetic al maşinilor electrice la variaţii ale valorii efective şi frecvenţei tensiunii de alimentare [4, 11, 12], mărimile care intervin în calculul pierderilor totale de putere şi energie

ale transformatoarelor pot fi evidențiate astfel :

$$\Delta P_W = \frac{\Delta P_{Wn}}{u^2}; \quad \Delta P_F = (0{,}61 + 0{,}39f)\frac{u^2}{f}\Delta P_{Fn}, \tag{1}$$

$$i_0 = \frac{u}{f} i_{on}; \quad u_k = \frac{1}{u^2}\sqrt{(1-f^2)\,u_{an}^2 + f^2 u_{kn}^2}.$$

Menționăm faptul că pentru calculul pierderilor de putere în circuitul magnetic se recomandă adesea relația $\Delta P_F = f^{1,3} b^2 \Delta P_{Fn}$, care poate fi scrisă — avînd în vedere legătura între mărimi ($u = bf$) — astfel : $\Delta P_F = u^2 f^{-0,7} \Delta P_{Fn}$. În cadrul lucrării se va face uz de relația (1), recomandată în [4, 12], întrucît este mai operativă, rezultatele numerice obținute prin aplicarea celor două relații fiind aceleași.

Mărimile (ΔP_W, ΔP_F, i_0, u_k) sînt valori curente cu semnificație similară celor nominale (ΔP_{Wn}, ΔP_{Fn}, i_{on}, u_{kn}), în condițiile variabilelor (u, f). La deducerea relației pentru mărimea u_k s-a procedat astfel :

$$u_k = \sqrt{u_a^2 + u_L^2} = \sqrt{\left(\frac{u_{an}}{u^2}\right)^2 + \left(f\frac{u_{Ln}}{u^2}\right)^2} =$$

$$= \frac{1}{u^2}\sqrt{u_{an}^2 + f^2(u_{kn}^2 - u_{an}^2)} = \tag{2}$$

$$= \frac{1}{u^2}\sqrt{(1-f^2)\,u_{an}^2 + f^2 u_{kn}^2},$$

unde :

u_{an}, u_a reprezintă valoarea nominală și curentă pentru componenta activă a tensiunii de scurtcircuit [%];

u_{Ln}, u_L — valorile similare pentru componenta reactivă a tensiunii de scurtcircuit [%].

Pe baza mărimilor nominale ale transformatorului se poate determina componenta $u_{an} = 100 \cdot \Delta P_{Wn}/S_n$ [3, 8, 14].

La transformatoarele de foarte înaltă tensiune, în speță pentru $u > 1$, pot deveni semnificative pierderile de putere activă (ΔP_D) și reactivă (ΔQ_D) în dielectric [10] :

$$\Delta P_D = f u^2 \Delta P_{Dn}; \quad \Delta Q_D = f\,u^2 \cdot \Delta Q_{Dn}, \tag{3}$$

ΔP_{Dn}, ΔQ_{Dn} fiind pierderile nominale de putere în dielectric (la $u = f = 1$) [kW, kvar].

Pe baza precizărilor efectuate rezultă că pierderile totale de putere activă (ΔP) și reactivă (ΔQ), pentru un transformator, se pot exprima, în mod curent, prin relațiile :

$$\Delta P = \Delta P_{Wn}\left(\frac{\beta}{u}\right)^2 + \Delta P_{Fn}\frac{u^2}{f} \times$$

$$\times (0{,}61 + 0{,}39 f) + \Delta P_{Dn} u^2 \cdot f), \tag{4}$$

$$\Delta Q = 0{,}01\, S_n \left(\frac{\beta}{u}\right)^2 \sqrt{(1-f^2)\,u_{an}^2 + f^2 u_{kn}^2} +$$

$$+ 0{,}01\, S_n i_{on}\frac{u}{f} + \Delta Q_{Dn} u^2 f.$$

În cazul a „N" transformatoare diferite care funcționează în paralel, relațiile de calcul sînt :

$$\Delta P = \left(\frac{S}{\sum_{i=1}^{N}\frac{S_{ni}}{u_{ki}}}\right)^2 \sum_{i=1}^{N}\frac{\Delta P_{Wi}}{u_{ki}^2} + \sum_{i=1}^{N}(\Delta P_{Fi} + \Delta P_{Di}),$$

$$\Delta Q = 0{,}01\left(\frac{S}{\sum_{i=1}^{N}\frac{S_{ni}}{u_{ki}}}\right)^2 \sum_{i=1}^{N}\frac{S_{ni}}{u_{ki}} + \tag{5}$$

$$+ \sum_{i=1}^{N}(0{,}01\, S_{ni} i_{oi} + \Delta Q_{Di}),$$

unde :

S este puterea aparentă absorbită pe barele secundare ale stației de transformare [kVA];

S_{ni} — puterea nominală a transformatorului „i" [kVA].

Mărimile variabile dependente (ΔP_{Wi}, ΔP_{Fi}, u_{ki} ...) se determină pentru fiecare combinație a variabilelor independente (u, f) cu relații de tipul (1).

Explicitarea relațiilor (5) pentru cazul particular a „N" transformatoare identice este următoarea :

$$\Delta P = \frac{1}{N}\Delta P_{Wn}\left(\frac{\beta}{u}\right)^2 +$$

$$+ N \cdot \frac{u^2}{f}\,[\Delta P_{Fn}(0{,}61 + 0{,}39f) + \Delta P_{Dn} f^2],$$

$$\Delta Q = \frac{0{,}01}{N} S_n \left(\frac{\beta}{u}\right)^2 \sqrt{(1-f^2)\,u_{an}^2 + f^2 \cdot u_{kn}^2} +$$

$$+ N \cdot \frac{u}{f}(0{,}01\, S_n i_{on} + u f^2 \Delta Q_{Dn}). \tag{6}$$

Relațiile menționate evidențiază modul de dependență a CPT al transformatoarelor de variabilele : β, care reflectă caracterul aleatoriu al sarcinii, și (u, f), care caracterizează SE. Pentru un anumit moment (t_j) sau un interval de timp (Δt_j), în care toate mărimile (β, u, f) pot fi considerate constante, pierderile totale echivalente de putere activă (cuprinzînd și pierderile de putere activă determinate de transportul pierderilor de putere reactivă) la

transformatoare sînt date de relația :

$$\Delta P_{tj} = \Delta P_j + \lambda \Delta Q_j ; \qquad (7)$$

$$(\Delta P_j ; \Delta Q_j) \overset{\wedge}{\underset{\Delta t_j}{=}} (\Delta P, \Delta Q),$$

λ fiind echivalentul energetic al puterii reactive [kW/kvar].

Pierderile corespunzătoare de energie într-un interval (T), în care sînt sesizate (M) valori ale vectorului (β. u, f) pot fi evaluate cu relația :

$$\Delta W_T = \sum_{j=1}^{M} \Delta P_{tj} \Delta t_j ; \quad T = \sum_{j=1}^{M} \Delta t_j . \qquad (8)$$

Pentru analize comparative sînt interesante valorile abaterilor, pe categorii de pierderi (active, reactive, în înfășurări, în circuitul magnetic), ale pierderilor totale de putere și energie, la aceeași valoare a factorului de încărcare (momentan sau mediu), pentru același interval de timp și la valori diferite ale variabilelor (u, f), față de pierderile cu semnificație identică la valori nominale ($u = f = 1$) ;

$$\delta(\Delta V) = (\Delta V - \Delta V_r) \ (\beta ; \Delta t_j ; T) = \text{ct.} \qquad (9)$$

$\Delta V = \{\Delta P_W ; \Delta P_F ; \ldots ; \Delta W_T\}$ — valorile pierderilor în regim curent (u, f — variabile) ;

$\Delta V_r = \{\Delta P_{Wr} ; \Delta P_{Fr} ; \ldots ; \Delta W_{Tr}\}$ — valorile pierderilor corespondente în regimul de referință ($u = f = 1$).

Spre exemplificare se dau, în cele ce urmează, relații pentru abateri ale unor mărimi cu referire la „N" transformatoare identice :

$$\delta(\Delta P_W) = \frac{1}{N}\left(\frac{1}{u^2} - 1\right) \Delta P_{Wn} \beta^2 ;$$

$$\delta(\Delta P_F) = N\left[(0{,}61 + 0{,}39 f)\frac{u^2}{f} - 1\right] \Delta P_{Fn}$$

$$\delta(\Delta Q) = \frac{0{,}01 S_n}{N}\left(\frac{1}{u^2}\sqrt{(1-f^2)u_{an}^2 + f^2 u_{kn}^2} - \right.$$

$$\left. - u_{kn}\right) \beta^2 + 0{,}01 N S_n \left(\frac{u}{f} - 1\right) i_{on} +$$

$$+ N(u^2 f - 1)\Delta Q_{Dn}$$

$$\delta(\Delta P_{tj}) = \delta(\Delta P_j) + \lambda \delta(\Delta Q_j) ;$$

$$\delta(\Delta W_T) = \sum_{j=1}^{M} \delta(\Delta P_{tj}) \Delta t_j .$$

2. Aspecte specifice de optimizare

Pentru un transformator dat se modifică valoarea factorului de încărcare (β_m) pentru care randamentul este maxim, astfel :

$$\beta_m = \sqrt{\frac{\Delta P_i}{\Delta P_\beta}} = \sqrt{\frac{\Delta P_F + \Delta P_D + \lambda(\Delta Q_F + \Delta Q_D)}{\Delta P_W + \lambda \Delta Q_W}}, \qquad (11)$$

unde :

ΔP_i, ΔP_β reprezintă pierderi de putere independente și respectiv dependente de sarcină ;

ΔQ_W, ΔQ_F — pierderi de putere reactivă în înfășurări și circuitul magnetic (corespunzătoare la u_k și i_0).

Expresia factorului (β_m) pentru cazul obișnuit al neglijării pierderilor de putere în dielectric va fi următoarea :

$$\beta_m = \frac{u}{\sqrt{f}} \sqrt{\frac{u^2(0{,}61 + 0{,}39f)\Delta P_{Fn} + 0{,}01 \lambda S_n i_{0n} u}{\Delta P_{Wn} + 0{,}01 \lambda S_n \sqrt{(1-f^2)u_{an}^2 + f^2 u_{kn}^2}}} . \qquad (12)$$

Valoarea aproximativă a factorului de încărcare pentru care randamentul este maxim se obține prin neglijarea pierderilor de putere reactivă :

$$\beta'_m = u^2 \sqrt{\frac{(0{,}61 + 0{,}39 f)\Delta P_{Fn}}{f \Delta P_{Wn}}} =$$

$$= u^2 \sqrt{\frac{0{,}61 + 0{,}39 f}{f}} \beta'_{mr}, \qquad (13)$$

unde :

β'_{mr} este valoarea corespunzătoare a factorului de încărcare în regim de referință ($u = f = 1$).

În cazul configurației 2×100 % a două transformatoare [7] se modifică valoarea puterii absorbite la care se justifică economic comutarea între starea cu rezerva pasivă și cea cu rezerva activă, în funcție de nivelul consumului :

$$S'_e = \sqrt{2} S_n \beta'_m ; \quad S_e = \sqrt{2} S_n \beta_m . \qquad (14)$$

Pe lîngă ajustările mărimilor menționate, funcție de valorile variabilelor (u, f), apare și aspectul specific de optimizare prin coordonarea valorii tensiunii în raport cu valoarea frecvenței și a factorului de încărcare, aplicînd criteriul „pierderi minime de putere".

$$\Delta P_t = \min \Leftrightarrow \frac{d(\Delta P_t)}{du} = 0 \Rightarrow u_m = y(f, \beta). \qquad (15)$$

Expresia funcției $y(f, \beta)$ pentru cazul a „N" transformatoare identice, cu neglijarea

pierderilor de putere reactivă și a pierderilor active în izolație se obține astfel :

$$\frac{d}{du}\left[N\cdot\frac{u^2}{f}(0{,}61+0{,}39f)\Delta P_{Fn}+\frac{\Delta P_{Wn}}{N\cdot u^2}\beta^2\right]=0. \tag{16}$$

Deci :

$$u'_m=\sqrt[4]{\frac{f\,\Delta P_{Wn}\beta^2}{(0{,}61+0{,}39f)N^2\Delta P_{Fn}}}. \tag{17}$$

În cazul general (al considerării tuturor categoriilor de pierderi) expresia pierderilor totale de putere este de forma :

$$\Delta P_t=\frac{A}{u^2}+Bu^2+\mathrm{Cu},\quad \text{prin urmare :}$$

$$\frac{\mathrm{d}(\Delta P_t)}{\mathrm{d}t}=-\frac{2A}{u^3}+2Bu+\mathrm{C}=0. \tag{18}$$

Deci exprimarea analitică a valorii variabilei (u_m) nu este în general posibilă, ceea ce implică determinarea acesteia pe cale grafică. În acest sens se vor reprezenta grafic, în scopul identificării punctului de intersecție, funcțiile :

$$y_1(u,f,\beta)=\frac{2A}{u^3};\quad y_2(u,f)=2\mathrm{B}u+\mathrm{C}; \tag{19}$$

$$u_m\mathrel{\widehat{=}}(y_1=y_2);\quad (f,\beta)=\mathrm{ct}.$$

Menționăm că pentru cazul general a „N" transformatoare diferite expresiile funcțiilor (y_1, y_2) nu evidențiază explicit factorul de încărcare (β). Coeficienții (A, B, C) se exprimă, în cazul a „N" transformatoare identice, la care se consideră toate categoriile de pierderi prin următoarele relații :

$$\begin{cases}\mathrm{A}=(\Delta P_{Wn}+0{,}01\lambda S_n\sqrt{(1-f^2)u_{an}^2+f^2u_{kn}^2})N^{-1}\cdot\beta^2\\ \mathrm{B}=\Delta P_{Fn}(0{,}61+0{,}39f)f^{-1}N+\\ \qquad+(\Delta P_{Dn}+\lambda\Delta Q_{Dn})fN\\ \mathrm{C}=0{,}01\,\lambda S_n i_{0n}f^{-1}N\end{cases} \tag{20}$$

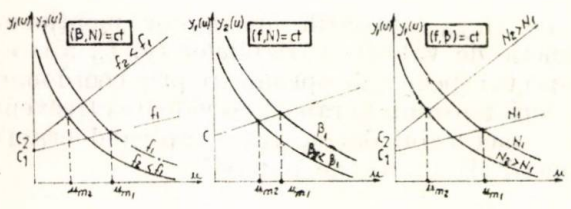


Fig. 1. Soluționarea ecuației (18) prin reprezentarea grafică a funcțiilor (y_1, y_2).

Reprezentarea grafică calitativă a funcțiilor (y_1, y_2), pentru diferite situații semnificative, poate fi urmărită în figura 1.

În cazul unei stații de transformare (ST) aplicarea criteriului „pierderi minime de putere", cu referire la variabila (u), implică determinarea valorilor de compromis (u'_{mST}, u_{mST}) care o caracterizează și deci care se recomandă a fi aplicată prin linia de alimentare a ST. Avînd în vedere relațiile generale (4, 5, 15) s-au dedus expresiile tensiunii relative (u'_{mST}) și ale coeficienților (A_{ST}, B_{ST}, C_{ST}) care determină valoarea exactă a tensiunii relative (u_{mST}) :

$$u'_{mST}=\sqrt{\frac{f\sum_{i=1}^{N_I}\beta_i^2\Delta P_{Wni}}{(0{,}61+0{,}39f)\sum_{i=1}^{N_I}N_i^2\Delta P_{Fni}}} \tag{21}$$

$$\begin{cases}A_{ST}=\sum_{i=1}^{N_I}\Delta P_{Wni}+0{,}01\,\lambda\sum_{i=1}^{N_I}S_{ni}\times\\ \qquad\times\sqrt{(1-f^2)\,u_{ani}^2+f^2u_{kni}^2}\,N_i^1\beta_i^2\\ \mathrm{B}_{ST}=(0{,}61+0{,}39f)f^{-1}\sum_{i=1}^{N_I}N_i\Delta P_{Fni}+\\ \qquad+f\sum_{i=1}^{N_I}(\Delta P_{Dni}+\lambda\Delta Q_{Dni})N_i\\ \mathrm{C}_{ST}=0{,}01\,\lambda f^{-1}\sum_{i=1}^{N_I}S_{ni}i_{0ni}N_i\end{cases} \tag{22}$$

unde :

N_I este numărul transformatoarelor sau grupelor de transformatoare care funcționează independent (pe receptoare diferite);

N_i, β_i — numărul de transformatoare identice și factorul de încărcare cu referire la grupa i.

Aplicarea cu strictețe a criteriului menționat presupune urmărirea continuă a variabilelor (f, β) și reglarea corespunzătoare a variabilei (u), ceea ce implică existența unui sistem automat de reglare cu următoarele atribuții : măsurarea valorilor absolute (F, S), calculul valorilor relative (f, β, u_m), reglarea rapidă a tensiunii la valoarea $U=u_m U_n$. Întrucît actuala dotare și configurație a SE nu permite o asemenea manieră de acțiune se impune operarea cu valorile medii ale variabilelor ($\bar f$, $\bar\beta$) pe intervale de timp. Deoarece valorile variabilei (f) se mențin practic constante pe intervale apreciabile de timp, adoptarea mărimii intervalelor de timp se constituie într-o nouă problemă de optim care are în vedere, pe de o parte, reducerea pierderilor de energie (cu atît mai substanțială cu cît finețea discretizării este mai mare), iar pe de altă parte creșterea cheltuielilor suplimentare implicate de evaluarea variabilei ($\bar\beta$) și reglarea tensiunii (la valori prestabilite prin intermediul unor nomograme).

3. Exemplificări numerice

Pentru analiza influenței căderii de tensiune asupra valorii inducției considerăm exemplul unui transformator pentru cuptoarele electrice cu arc avînd următoarele caracteristici [5]: $S_n = 4$ MVA; $u_{Ln} = 10{,}6\%$; $u_{an} = 1{,}2\%$; $\cos \varphi_2 = 0{,}8$. În baza relațiilor [8, 12, 14]:

$$U\left(1 \pm \frac{\Delta u_r}{2}\right) = 4{,}44 \text{ FBSN};$$

$$u_a = \frac{u_{an}}{u^2}; \quad u_L = \frac{f}{u^2} u_{Ln}$$

$$\Delta u_r = 0{,}01\beta (u_a \cos \varphi_2 + u_L \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2 10^{-4}}{2} (u_L \cos \varphi_2 - u_a \sin \varphi_2)^2 \qquad (23)$$

se întrevede o influență indirectă (prin Δu_r) a variabilelor (u, f, β) asupra inducției (B) și implicit asupra pierderilor. Analizăm nivelul acesteia considerînd diferite valori ale variabilelor (u, f) la $\beta = 1$ (tabelul 1).

Se constată că abaterile factorului $\left(1 - \frac{\Delta u_r}{2}\right)$, la diferite valori ale variabilelor (u, f), față de valoarea de referință (la $u = f = 1$) sînt cu un ordin de mărime mai reduse decît abaterile mărimilor perturbatoare (u, f). Prin urmare influența factorului $\left(1 - \frac{\Delta u_r}{2}\right)$ asupra inducției (B) se poate neglija.

Celelalte aspecte s-au studiat cu referire la sistemul de alimentare cu energie electrică a unei întreprinderi constructoare de mașini, avînd schema din figura 2.

Caracteristicile transformatoarelor [3] se prezintă în tabelul 2, iar valorile variabilelor (u, f) în figurile 3, 4.

Calculul abaterilor [$\delta(\Delta V)$] s-a efectuat pentru configurațiile optime stabilite prin aplicarea criteriului CTA [6] la valorile discrete ale varia-

Tabelul 1

Valorile unui factor de influență a inducției

Valorile variabilelor	$u = 1$ $f = 1$	$u = 1$ $f = 0{,}96$	$u = 0{,}9$ $f = 1$	$u = 0{,}9$ $f = 0{,}96$	$u = 1{,}1$ $f = 0{,}96$	$u = 0{,}9$ $f = 0{,}94$	$u = 1{,}1$ $f = 0{,}94$
$1 - \frac{\Delta u_r}{2}$	0,962	0,963	0,953	0,954	0,969	0,955	0,970

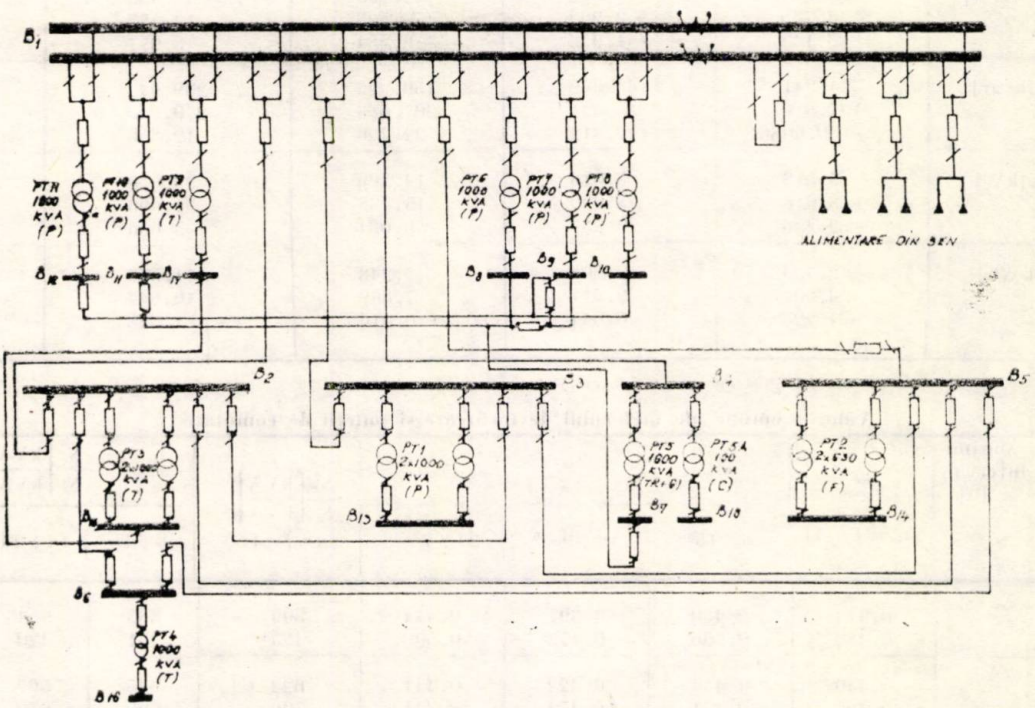


Fig. 2. Schema monofilară a stației de transformare 6/0,4 kV pentru alimentarea cu energie electrică a întreprinderii analizate: T — turnătorie; TR — tratament; F — forje; G — galvanizare; P — prelucrări prin așchiere.

bilelor (u, f, β) corespunzătoare pasului de 0,5 h. Rezultatele obținute sînt sintetizate în tabelul 3.

Tabelul 2

Caracteristicile transformatoarelor

S_n [kVA]	U_{1n}/U_{2n} [kV/kV]	ΔP_{Fn}[kW]	ΔP_{Wn} [kW]	u_{kn} [%]	i_{on}[%]
630	6/0,4	1,7	9,9	6	4,8
1000	6/0,4	2,73	14,1	6	4,1
1600	6/0,4	3,9	21	6	3,5

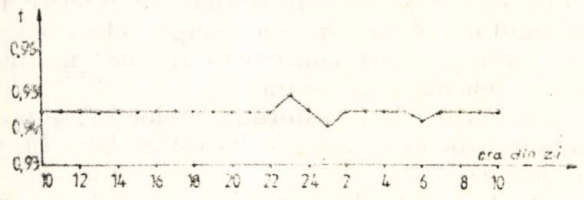


Fig. 3. Valorile discrete ale frecvenței relative.

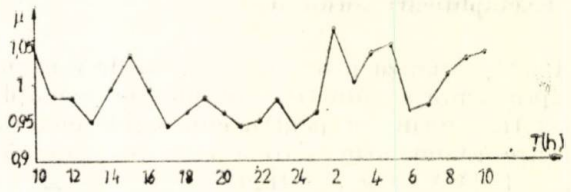


Fig. 4. Valorile discrete ale tensiunii relative.

Indicele (T) semnifică întregul interval (T = = 24 h). În scopul facilitării unor concluzii practice s-au calculat și valorile abaterilor pentru cazurile de „semireferință" ($u = 1$; $f =$ = var. și $f = 1$; $u =$ var.).

Valorile factorului de încărcare pentru care randamentul este maxim și respectiv ale puterii pentru care se recomandă comutarea între cele două stări, calculate pe intervale de timp reprezentînd cele trei schimburi de lucru, se prezintă în tabelul 4.

Tabelul 3

Valorile totale ale abaterilor

Configurație și valori (u, f) / $\delta(\Delta W)_T$	PT 1	PT 2	PT3+PT4+PT9	PT(5—8)+PT10+PT11	Total
	(u, f) (1, f) (u, 1)	(u, f) (1, f) (u, 1)	(u, f) (1, f) (u, 1)	(u, f) (1, f) (u, 1)	(u, f) (1, f) (u, 1)
$\delta(\Delta P_W)_T$ [kW]	1,304 0 1,304	2,352 0 2,352	6,937 0 6,937	12,819 0 12,819	23,412 0 23,412
$\delta(\Delta P_F)_T$ [KW]	1,384 4,788 −3,142	0,862 2,960 −1,956	2,768 9,508 −6,284	3 ,955 13,583 −8,977	8,969 30,839 −20,359
$\delta(\Delta Q)_T$ [kvar]	94,341 107,616 −20,608	60,062 75,411 −10,312	159,925 207,683 −22,796	209,944 270,340 −12,856	524,272 661,050 −66,572
$\delta(\Delta P_t)_T$ [kW]	5,518 8,016 −2,456	5,016 5,222 0,087	14,496 15,738 −0,031	23,072 21,693 3,656	48,102 50,669 1,256
$\delta(\Delta W)_T$ [kWh]	2,759 4,001 −1,228	2,508 2,611 0,044	7,248 7,869 −0,016	11,536 10,847 1,828	24,051 25,328 0,628

Tabelul 4

Valorile optime ale factorului de încărcare și puterii de comutare

Mărimi intervale [h] / S_n [kVA]	β'_{mr} / β_{mr} ($u = f = 1$)	β'_m / β_m			$\frac{S'_{er}}{S_{er}}$ [kVA/kVA] ($u = f = 1$)	$\frac{S'_e}{S_e}$ [kVA/kVA]		
		$8 \div 15^{30}$	$16 \div 23^{30}$	$24 \div 7^{30}$		$8 \div 15^{30}$	$16 \div 23^{30}$	$24 \div 7^{30}$
630	0,414 0,486	0,430 0,506	0,397 0,472	0,414 0,500	369 433	383 451	354 420	369 445
1000	0,440 0,499	0,456 0,431	0,422 0,474	0,441 0,341	622 706	645 609	597 670	624 582
1600	0,431 0,483	0,447 0,432	0,413 0,469	0,432 0,488	975 1094	1011 977	935 1061	977 1104

Valorile medii ale variabilelor (u, f) pe intervale sînt: $[8 \div 15^{30}] \widehat{=} (1{,}009;\ 0{,}944)$; $[16 \div 23^{30}) \widehat{=} (0{,}971;\ 0{,}944)$; $[24 \div 7^{30}] \widehat{=} (0{,}993;\ 0{,}943)$.

Tensiunile relative pentru care pierderile sînt minime, calculate cu relaţiile aproximative (17; 21), pentru fiecare configuraţie şi pentru ST, la valorile medii indicate ale frecvenţei relative pe cele trei intervale şi pentru valorile medii ale factorului de încărcare $(\bar{\beta}_1, \bar{\beta}_2, \bar{\beta}_3)$ pe schimburi, se indică în tabelul 5. În figura 5 s-au reprezentat funcţiile (y_1, y_2) pentru aceleaşi valori medii ale variabilelor $(\bar{f}, \bar{\beta})$, stabilindu-se valorile exacte ale variabilei (u_m) pe configuraţii şi intervale de timp.

Tabelul 5

Valorile aproximative ale variabilei $u_m(\acute{u}_m;\ \acute{u}_{mST})$

Configuraţie	PT1	PT2	PT3+ +PT4+ +PT9	PT(5÷8)+ +PT10+ +PT11	ST
$\bar{\beta}_1$; 1	0,447	0,482	0,819	0,913	1
$\bar{\beta}_2$; 2	0,199	0,403	0,832	0,763	2
$\bar{\beta}_3$; 3	0,139	0,266	0,698	0,587	3
u'_{m1}; u'_{mST1}	0,999	1,069	0,956	1,020	1,000
u'_{m2}; u'_{mST2}	0,665	0,977	0,963	0,933	0,932
u'_{m3}; u'_{mST3}	0,555	0,794	0,882	0,818	0,828

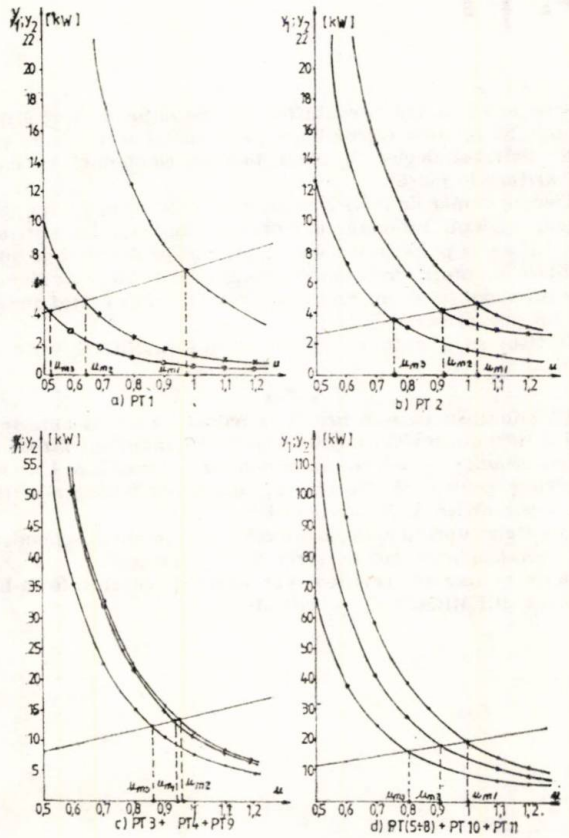


Fig. 5. Reprezentarea grafică a funcţiilor (y_1, y_2) pentru determinarea valorilor (u_{m1}, u_{m2}, u_{m3}).

Concluzii

Pentru evaluarea CPT al transformatoarelor, în condiţiile funcţionării la abateri ale frecvenţei şi tensiunii efective de alimentare faţă de valorile nominale, s-au evidenţiat în relaţiile de calcul al pierderilor de putere variabilele (u, f) — valorile relative ale tensiunii şi frecvenţei şi β — factorul de încărcare. În scopul efectuării unor analize comparative, în cadrul lucrării s-au dedus expresiile abaterilor pierderilor de putere şi energie la valorile curente ale variabilelor (u, f), faţă de pierderile cu aceeaşi semnificaţie, la valori nominale ale variabilelor $(u = f = 1)$. Pe lîngă evaluarea mai exactă a pierderilor de putere şi energie, evidenţierea variabilelor (u, f, β) permite şi tratarea corespunzătoare a unor aspecte specifice de optimizare. În acest sens în lucrare sînt înseriate expresiile factorului de încărcare (β_m, β'_m), la care randamentul unui transformator este maxim, şi a puterii aparente (S_e, S'_e), la care se justifică economic comutarea între starea cu rezerva pasivă şi starea cu rezervă activă, posibile în cazul a două transformatoare identice care funcţionează în paralel. În scopul optimizării transformatoarelor şi grupelor de transformatoare, după criteriul „pierderi minime de putere", la valori variabile ale mărimilor (f, β) se precizează modul de stabilire pe cale analitică sau grafo-analitică a valorii tensiunii de lucru (u'_m, u_m).

Cu referire la exemplul analizat se poate afirma că, chiar şi în condiţiile funcţionării staţiei în varianta optimă sub aspectul puterii instalate în transformatoare şi al unei abateri reduse a tensiunii faţă de valoarea nominală $(\bar{u} = 0{,}990)$, la valori actuale ale frecvenţei $(\bar{f} = 0{,}9437)$, abaterea pierderilor de energie este semnificativă (8,78 MWh/an). Aceasta reprezintă 1,05% din pierderile totale de energie în ST. În cazul de semireferinţă $(u = 1,\ f = 0{,}9437)$ abaterea este de 1,1%. Deplasarea mărimilor (u, f) faţă de valorile de referinţă determină abateri substanţiale ale valorilor mărimilor care caracterizează randamentul optim $(\beta_m, \beta'_m, S_e, S'_e)$ faţă de valorile mărimilor similare în regimul de referinţă $(\beta_{mr}, \beta'_{mr}, S_{er}, S'_{er})$. Sensul abaterilor mărimilor menţionate depinde de combinaţia (u, f) şi de caracteristicile transformatorului. Valorile tensiunii (u_m, u'_m) la care CPT al transformatoarelor este minim sînt puternic afectate de valorile variabilei (f) şi în speţă (β). La valorile normale ale factorului de încărcare $(\beta \geqslant 0{,}3)$ se obţin totuşi abateri plauzibile sub aspectul practic ($-18\% \div +7\%$ în cazul analizat) chiar şi la valorile actuale ale frecvenţei.

Bibliografie

[1] Albert, H. *Pierderi de putere și energie în rețelele electrice.* Ed. Tehnică, București, 1984.

[2] Baghiev, G. I. ș.a. *Tehniko-ekonomiceskii analiz raboti promîșlennh predpriiatii pri izpolizovnanii elektroenerghii ponijennoi ciastoti.* In: Promîșlennaia energhetika, nr. 6, 1986, p. 5—8.

[3] Bichir, N. I. *Transformatorul electric. Îndrumar de proiectare.* I. P. București, 1979.

[4] Carabogdan, I. Gh. ș.a. *Bilanțuri energetice.* Ed. Tehnică, București, 1986.

[5] Comșa, D., Pantelimon, L. *Electrotermie.* E.D.P., București, 1979.

[6] Constantinescu, I. ș.a. *Influența funcționării sistemului energetic național în condiții de deficit de putere și frecvență redusă asupra siguranței și economicității sistemului și elementelor sale, inclusiv asupra consumatorilor.* ICEMENERG, 1985.

[7] Felea, I. *Considerații privind stabilirea stărilor optime de funcționare ale stațiilor de transformare pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali din domeniul construcțiilor de mașini.* In: Energetica, nr. 6, 1986, p. 250—257.

[8] Gheorghiu, I. S., Fransua, Al. *Tratat de mașini electrice.* Ed. Academiei R.S.R., București 1968.

[9] Guțu, C. ș.a. *Determinarea efectului economic al variațiilor de tensiune asupra consumatorilor.* In: Studii și cercetări de energetică, vol. 13, nr. 4 A, 1963, p. 511—523.

[10] Ifrim, A., Notingher, P. *Materiale electrotehnice.* E.D.P., București, 1979.

[11] Iordache, A., M. *Implicații tehnico-economice ale calității energiei electrice.* Teză de doctorat, I. P. București, 1987.

[12] Kostenko, M., Piotrovski, L. *Machines électriques.* Editions Mir-Moscou, 1979.

[13] Nepomniascii, V. A. *Usciot nadejnosti pri-proiektirovanii energosistem.* Energhiia, Moskva, 1978.

[14] Nicolaide, A. *Mașini electrice. Teorie — proiectare.* Ed. Scrisul Românesc, Craiova, 1975.

[15] Nitu, V. I. *Fiabilitatea instalațiilor energetice.* Ed. Academiei R.S.R., București, 1973.

[16] Preda, L., ș.a. *Stații și posturi electrice de transformare.* Ed. Tehnică, București, 1988.

[17] f* * * *Influența frecvenței sistemului energetic asupra funcționării centralelor electrice.* In: Energetica, nr. 8, 1986, p. 267—275.

(Primit la 5 iunie 1989, acceptat la 27 iulie 1989)

NOUTĂȚI

Redacția revistei *Der Maschinenschaden* ne trimire următoarea notă informativă:

Cercetarea defectelor înseamnă combaterea lor

Cercetarea defectelor înseamnă a învăța din greșelile altora, pentru a putea combate ulterior apariția unor evenimente similare. Revista *Der Maschinenschaden* din decembrie 1989 oferă informații utile asupra tehnologiei riscurilor. Referatele se referă la analiza defectelor prin tehnica de încercări cu ultrasunete, experiența de exploatare obținută cu rotoare fisurate, încercări la șoc, lucrări preventive de întreținere, protecția contra incendiilor în exploatare și alte teme conexe. De asemenea, se mai prezintă un calendar al manifestărilor internaționale pînă în 1991 și o listă bibliografică cuprinzînd cărți și alte lucrări, totalizînd peste 25 de titluri în acest domeniu.

Doi autori descriu stadiul actual, posibilități de dezvoltare și progresele în domeniul tehnologiei de încercări cu ultrasunete pentru analiza defectelor. Se dau exemple pentru bolțurile de fixare a miezului și pentru știfturile de centrare ale elementelor de combustie din centralele nucleare. După înțelegerea procesului de producere a defectului s-a trecut la o strategie adaptată și economică de reparație. Un alt autor descrie înregistrarea și evaluarea pe calculator a încercărilor de șoc. Se folosesc calculatoare personale și traductoare rapide digital-analogice, a căror folosire combinată exclude calculatoarele mari.

Fiecare număr de revistă cuprinde scurte rezumate în germană, engleză, franceză, olandeză și italiană. La sfîrșitul fiecărui an se publică un cuprins general pe domenii de specialitate și autori. Prețul unui număr este de 20 DM: abonamentul anual (șase numere) costă 110 DM plus costul ambalajului și expedierii.

Revista se găsește la biblioteca ICEMENERG — București.

* * *

Vă informăm că s-au primit la redacția noastră numerele 1 și 2/1990 din revista *Elektrotechnik und Informationstechnik (Electrotehnica și tehnica informațiilor)*, revistă a Uniunii Austriece pentru Electrotehnică, editată de Springer-Verlag din Viena (Wien I, Mälkerbastel 5).

Revistele cuprind articole interesante care vor fi semnalate în *Energetica peste hotare*, seria *Sumar energetic*.

După prelucrare, revistele vor putea fi consultate la biblioteca ICEMENERG — București.

Formule statistice pentru determinarea compoziției materiilor volatile degajate la încălzirea cărbunilor

Dr. ing. GEORGE CHERCEA, ing. RADU BĂCANU*

Descriptori : încălzirea cărbunilor, materii volatile din cărbune

Analiza cantitativă a compoziției materiilor volatile degajate la încălzirea cărbunilor nu face parte, în mod obișnuit, din setul de analize chimice care se efectuează asupra cărbunilor. Motivul constă în faptul că aparatura necesară efectuării acestei analize este scumpă, complicată și necesită o întreținere destul de costisitoare. Pe de altă parte, din punctul de vedere al tehnicii arderii cărbunilor, cunoașterea compoziției materiilor volatile degajate din cărbune, la încălzirea acestuia, ar aduce foloase evidente în aprecierea unor procese ca : aprinderea materiilor volatile, degajarea căldurii prin arderea acestora, aprinderea particulelor de cocs, stabilitatea arderii și altele.

Avînd în vedere rezultatele obținute în ultimii ani în reprezentarea unor caracteristici ale cărbunelui și gazelor generate prin arderea acestuia prin corelații statistice, în articolul de față a fost abordată această cale, și anume aceea de a reprezenta compoziția materiilor volatile prin formule statistice în funcție de caracteristici cunoscute ale cărbunelui. Au fost alese forme de formule statistice potrivite evaluării cu ajutorul calculatorului de buzunar și au fost obținute corelații care pot fi apreciate ca mergînd de la suficient de strînse la foarte strînse.

Quantitative analysis of volatiles emission composition during coals heating does not usually belong to the chemical analyses set of coals. The reason therefore is the high price of the necesar equipment, its complexity and its difficult servicing. On the other hand, from the point of view of coal burning, the knowledge of volatiles composition emitted from coal during its heating up would bring about obvious advantages on the appreciation of some processes like : volatiles ignition, heat emissions by their burning, coke particles ignition, burning stability and others.

Considering the results obtained during the last years with the representation of some characteristics of coal and gases generated by its burning by means of statistical correlations, the present paper has tackled this way, i.e. to represent volatiles composition by statistical formulae, depending on the well-known chacracteristics of coals. Suitable statistical formulae were chosen which enable the use of pocket computers, Correlations were obtained which can be appreciated as progressing from quite narrow to highly narrow ones.

Introducere

Într-un articol publicat anterior [1] era manifestat regretul față de faptul că informațiile referitoare la „calitatea" materiilor volatile degajate din cărbune la încălzirea acestuia sînt destul de sărace, îngreunînd în mod sensibil alcătuirea și implementarea unor modele matematice ale procesului de ardere a cărbunelui pulverizat. În prezent, atît în țară, cît și peste hotare nu este standarizată o metodă de analiză cantitativă a materiilor volatile. Pe de altă parte, metodele disponibile, cum ar fi, de exemplu, cromatografia, necesită o aparatură destul de costisitoare și dificil de utilizat. În consecință, în prezent, stabilirea compoziției materiilor volatile nu face parte din pachetul obișnuit de analize la care este supus un cărbune. Avantajele cunoașterii compoziției materiilor volatile au fost prezentate în [1] și nu mai este necesar a insista asupra lor.

Pentru a ieși din acest impas se conturează o cale relativ comodă, care va fi prezentată în cele ce urmează.

Este cunoscut faptul că analiza statistică a pus în evidență dependența unor caracteristici ale cărbunilor de alte caracteristici ale acestora. Exemplul cel mai cunoscut este cel al relațiilor statistice pentru calculul cantității teoretice de aer de ardere și al cantității teoretice de gaze de ardere, în funcție de puterea calorifică inferioară a combustibilului (cărbune și apoi păcură și gaz). Relațiile, stabilite inițial de Rosin și Fehling [2], au trecut printr-o serie de modificări efectuate de Gumz [3] și Boie [2], pentru ca Brandt [4] să le aducă la forma actuală, mult îmbogățită, cuprinzînd în plus, de exemplu, relații pentru determinarea densității gazelor de ardere sau chiar a valorii constantei gazelor perfecte a gazelor de ardere.

Zelkowski [5] pune în evidență dependența conținutului de materii volatile al cărbunelui de gradul de incarbonizare al acestuia. Acest fapt conduce imediat la ideea existenței unei dependențe statistice certe între valoarea participației masice a unei anumite componente a materiilor volatile și o caracteristică a cărbunelui. Pentru moment trebuie observată tendința clară descrescătoare a conținutului de materii volatile, în funcție de gradul de incarbonizare. Cărbunii cu grad de incarbonizare mic, cărbunii tineri, de exemplu ligniții, au un conținut ridicat de materii volatile, iar cărbunii cu grad de incarbonizare mare, cărbunii bătrîni,

* Dr. ing. George Chercea, ing. Radu Băcanu — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

de exemplu antracitii, au un conținut redus de materii volatile. *Nu există nici o abatere de la această regulă.*

1. Definiții și premise

1.1. Compoziția calitativă a materiilor volatile

Pentru a putea folosi cantitatea disponibilă de informații, în cele ce urmează se va considera că materiile volatile degajate prin încălzirea cărbunelui se compun din : bioxid de carbon, oxid de carbon, hidrogen, metan, hidrocarburi superioare (metanului), hidrogen sulfurat, azot și vapori de apă. Deci 1 kg de materii volatile va avea următoarea compoziție :

$$CO_2+CO+H_2+CH_4+C_mH_n+ \quad (1)$$
$$+H_2S+N_2+H_2O = 1,$$

unde CO_2 este conținutul de bioxid de carbon în materiile volatile, kg/kg etc.

1.2. Gradul de incarbonizare

Asupra „gradului de incarbonizare" al cărbunelui s-au făcut numeroase speculații. În articolul de față se consideră drept „măsură" a gradului de incarbonizare a unui cărbune oarecare cea propusă de Zelkowski [5]. Aceasta consideră ca „măsură" naturală a gradului de incarbonizare conținutul de carbon al cărbunelui raportat la starea combustibilă (masa combustibilă) : C_{mc}.

1.3. Premise ale analizei statistice

Pornind de la un volum important de cercetări efectuat în domeniul gazeificării cărbunilor (huile și cărbuni bruni) [6], se consideră ca parametrii determinanți ai compoziției materiilor volatile : fie „vechimea" cărbunelui, deci gradul de incarbonizare, fie conținutul relativ de oxigen din cărbune, deci raportul C/O din analiza elementară.

1.4. Datele pentru întocmirea analizei statistice

Pentru întocmirea analizei statistice au fost folosite date preluate de la Zelkowski [5] și datele ICEMENERG referitoare la mixtele din Valea Jiului.

1.5. Alegerea formei funcțiilor de interpolare

În alegerea formei funcțiilor de interpolare s-a urmărit, în primul rînd, scopul utilizării practice al acestora și deci au fost reținute funcțiile a căror formă permite o evaluare ușoară cu ajutorul calculatorului de buzunar.

2. Analiza statistică

2.1. Conținutul de bioxid de carbon

O primă testare asupra datelor disponibile a arătat că în cazul conținutului de bioxid de carbon, parametrul formulei statistice este raportul carbon-oxigen din analiza elementară.

Datele disponibile sînt prezentate în tabelul 1.

După prelucrarea statistică a datelor prezentate în tabelul 1 a rezutat că cea mai bună aproximație este oferită de funcția

$$CO_2 = 0{,}47963-0{,}20562 \ln\left(\frac{C}{O}\right) \quad (2)$$

aleasă întrucît acesteia îi corespunde coeficientul Pierson [7] cu valoarea cea mai ridicată :

$$r^2 = 0{,}89350 \text{ și } |r| = 0{,}94525.$$

În relația (2) :
CO_2 este conținutul de bioxid de carbon în materiile volatile, kg/kg ;
C — conținutul de carbon în cărbune, raportat la masa de lucru, kg/kg ;
O — conținutul de oxigen în cărbune, raportat la masa de lucru, kg/kg.

2.2. Conținutul de oxid de carbon

Prin teste preliminare s-a constatat că și în cazul conținutului de oxid de carbon, parametrul formulei statistice este raportul C/O. Datele disponibile sînt prezentate în tabelul 2.

În urma prelucrării statistice a datelor prezentate în tabelul 2 se obține formula de aproximare :

$$CO = 0{,}27580-0{,}02735\left(\frac{C}{O}\right) \quad (3)$$

caracterizată de

$$r^2 = 0{,}74379 \text{ și } |r| = 0{,}86243,$$

Tabelul 1

Conținutul de CO din materiile volatile pentru diferiți cărbuni

C/O	2,233	1,733	2,066	2,394	2,333	2,599	2,666	2,566	
CO_2	0,379	0,327	0,327	0,325	0,279	0,272	0,297	0,151	
C/O	4,266	4,966	5,233	5,166	4,933	4,799	4,766	5,066	5,133
CO_2	0,167	0,199	0,181	0,162	0,158	0,144	0,130	0,139	0,116
C/O	5,466	5,633	5,366	5,166	6,299	6,266	6,666	6,599	
CO_2	0,137	0,118	0,097	0,088	0,139	0,095	0,106	0,081	

Conținutul de CO din materiile volatile pentru diferiți cărbuni — *Tabelul 2*

C/O	1,866	2,733	2,933	2,599	2,566	2,333	2,166	2,733	4,666			
CO	0,223	0,306	0,263	0,239	0,209	0,206	0,181	0,129	0,183			
C/O	5,666	5,233	5,199	4,866	5,099	4,933	5,533	5,333	6,333	6,266	6,799	6,699
CO	0,176	0,163	0,153	0,136	0,116	0,109	0,118	0,096	0,114	0,083	0,084	0,074

în care: CO este conținutul de oxid de carbon în materiile volatile, kg/kg;

C — conținutul de carbon în cărbune, raportat la masa de lucru, kg/kg;

O — conținutul de oxigen în cărbune, raportat la masa de lucru, kg/kg.

2.3. Conținutul de hidrogen

Pentru conținutul de hidrogen, parametrul formulei statistice este conținutul de carbon raportat la masa combustibilă C_{comb}. Datele disponibile analizei statistice sînt prezentate în tabelul 3.

După prelucrarea statistică a datelor prezentate în tabelul 3, se obține formula de interpolare

$$H_2 = 0{,}00184 \exp (3{,}30152\ C_{comb}) \qquad (4)$$

caracterizată de

$$r^2 = 0{,}54406 \text{ și } |r| = 0{,}73760,$$

în care H_2 este conținutul de hidrogen în materiile volatile, kg/kg;

C_{comb} conținutul de carbon raportat la masa combustibilă a cărbunelui, kg/kg.

2.4. Conținutul de metan

Parametrul formulei statistice pentru conținutul de metan este tot conținutul de carbon raportat la masa combustibilă a cărbunelui C_{comb}. Datele disponibile sînt prezentate în tabelul 4.

După prelucrarea statistică a datelor prezentate în tabelul 4, se obține formula de interpolare:

$$CH_4 = 0{,}03629\ C_{comb}^{1{,}56682} \qquad (5)$$

caracterizată de:

$$r^2 = 0{,}47476 \text{ și } |r| = 0{,}68903$$

în care CH_4 este conținutul de metan în materiile volatile, kg/kg.

2.5. Conținutul de hidrocarburi superioare

Pentru conținutul de hidrocarburi superioare metanului, parametrul formulei statistice este raportul C/O din analiza elementară. Datele disponibile pentru analiză sînt prezentate în tabelul 5.

După prelucrarea statistică a datelor prezentate în tabelul 5, se obține formula de interpolare:

$$C_mH_n = 0{,}18865 \exp 0{,}12219 \left(\frac{C}{O}\right) \qquad (6)$$

caracterizată de:

$$r^2 = 0{,}92611 \text{ și } |r| = 0{,}96235$$

Conținutul de H_2 din materiile volatile pentru diferiți cărbuni — *Tabelul 3*

C_{comb_1}	0,6392	0,640	0,644	0,6536	0,6584	0,664	0,6768	0,6656	0,6832		
H_2	0,0179	0,0153	0,0123	0,0153	0,0173	0,0476	0,0566	0,0646	0,0193		
C_{comb_2}	0,728	0,7352	0,7488	0,7568	0,7608	0,748	0,7496	0,7496	0,7656		
H_2	0,0239	0,0179	0,0193	0,0166	0,0203	0,0233	0,0243	0,0546	0,0619		
C_{comb_3}	0,7668	0,7576	0,7616	0,7704	0,7784	0,7776	0,7744	0,7648	0,7704	0,7712	0,7528
H_2	0,0629	0,0279	0,0259	0,0259	0,0309	0,0266	0,209	0,0213	0,0243	0,0193	0,0196

Conținutul de metan din materiile volatile pentru diferiți cărbuni — *Tabelul 4*

C_{comb_1}	0,6448	0,6392	0,6544	0,6592	0,664	0,6688	0,6744	0,6824	0,7264
CH_4	0,0113	0,0179	0,0135	0,0161	0,0203	0,0226	0,0241	0,0188	0,0219
C_{comb_2}	0,7568	0,7616	0,7568	0,7512	0,7456	0,7448	0,7672	0,7736	0,7592
CH_4	0,0156	0,0173	0,0186	0,0184	0,0211	0,0226	0,0266	0,0204	0,0231
C_{comb_3}	0,7608	0,764	0,7792	0,7768	0,7856	0,7808	0,792		
CH_4	0,0256	0,0286	0,0292	0,0249	0,0229	0,0206	0,186		

Tabelul 5

Conținutul de hidrocarburi superioare metanului din materiile volatile pentru diferiți cărbuni

C/O	1,666	1,933	2,666	2,733	2,2333	2,333	2,766	2,699	5,099	5,199			
C_mH_n	0,229	0,226	0,206	0,224	0,251	0,259	0,283	0,383	0,283	0,200			
C/O	5,033	4,999	5,499	5,333	5,533	5,433	4,833	4,766	5,464	6,066	6,599	6,499	6,166
C_mH_n	0,319	0,331	0,341	0,344	0,351	0,358	0,364	0,361	0,393	0,391	0,451	0,438	0,439

în care C_mH_n este conținutul de hidrocarburi superioare metanului în materiile volatile, kg/kg.

2.6. Conținuturile de hidrogen sulfurat și azot

Întrucît datele referitoare la conținuturile de hidrogen sulfurat și azot în materiile volatile degajate la încălzirea cărbunilor, aflate la dispoziția autorilor, nu sînt suficiente pentru întocmirea unei analize statistice, vor fi reproduse polinoamele propuse de Zelkowski și anume :

$$N_2 = 0{,}003 + 0{,}17\,(C_{comb} - 0{,}60) - 0{,}025(C_{comb} - 0{,}60)^2 \quad (7)$$

$$H_2S = 0{,}35\,(C_{comb} - 0{,}60) - 0{,}85(C_{comb} - 0{,}60)^2 - 0{,}55\,(C_{comb} - 0{,}60)^3. \quad (8)$$

3. Constatări

3.1. Relațiile stabilite în articolul de față sînt caracterizate printr-o dependență statistică bună. Astfel, considerînd că dependența statistică este vădită pentru valori $r > 0{,}5$ [7], se constată că această dependență statistică este evidentă pentru toate cele cinci relații propuse. Dependența cea mai slabă este cea corespunzătoare metanului ($r^2 = 0{,}47476$ și $r = 0{,}68903$), iar cea mai puternică este cea corespunzătoare hidrocarburilor superioare ($r^3 = 0{,}92611$ și $r = 0{,}96235$).

3.2. Datele sînt prezentate grafic și în figura 1, în care sînt trasate și curbele de interpolare.

4. Exemplu numeric. În continuare se prezintă un exemplu numeric comparativ cu datele prezentate în [5] în cadrul unui studiu de caz.

Combustibilul : huilă cu puterea calorifică inferioară $Q_i = 29{,}9$ MJ/kg și conținutul de materii volatile :

— raportat la masa inițială : 0,25 kg/kg

— raportat la masa combustibilă : 0,299 kg/kg

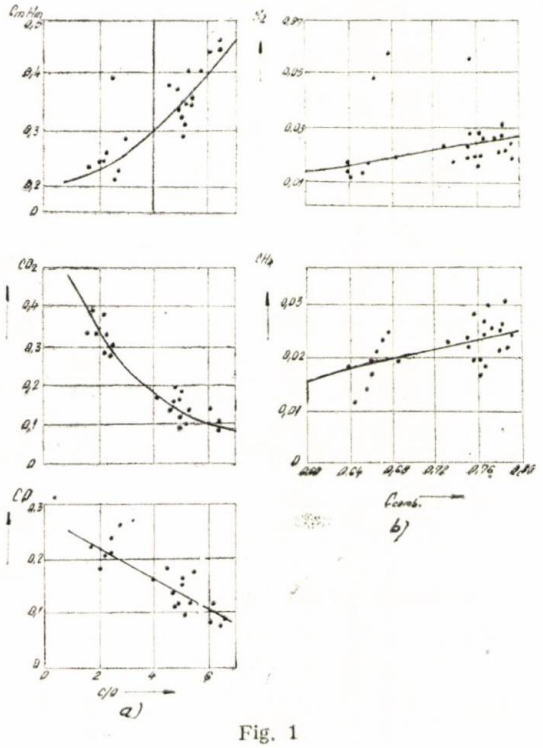


Fig. 1

Gradul de incarbonizare (conținutul de carbon raportat al masa combustibilă) $C_{comb} = 0{,}855$.

Raportul $C/O = 0{,}855/0{,}08 = 10{,}687$

Compoziția materiilor volatile

Componența	după formula		după [5]	Diferența [%]
CO_2	(2)	0,0	0,0	0,00
CO	(3)	0,0	0,0	0,00
CH_4	(5)	0,028	0,025	12,00
H_2	(4)	0,031	0,035	11,43
C_mH_n	(6)	0,696	0,643	8,24
N_2	(7)	0,044	0,044	—
H_2S	(8)	0,025	0,025	—
		0,824	0,7712	
H_2O	1—	0,176	0,228	

Concluzii

a) Analiza statistică efectuată asupra compoziției materiilor volatile degajate la încălzirea cărbunelui a pus în evidență dependența acesteia de :

— gradul de incarbonizare al cărbunelui, exprimat prin conținutul de carbon raportat la masa combustibilă a cărbunelui și de

— raportul C/O din analiza elementară a cărbunelui.

b) la relațiile de interpolare au fost alese acelea avînd forme potrivite pentru evaluarea comodă cu ajutorul unui caculator de buzunar. Corelațiile între relațiile de interpolare și datele disponibile sînt suficient de strînse (judecate prin coeficientul lui Pierson r^2). Cea mai slabă corelație este cea corespunzătoare metanului. ($r^2 = 0{,}47476$ și $|r| = 0{,}68903$), iar cea mai puternică este cea corespunzătoare hidrocarburilor superioare ($r^2 = 0{,}92611$ și $|r| = 0{,}96235$).

c) Au fost stabilite relații de interpolare pentru conținuturile de bioxid de carbon, oxid de carbon, metan, hidrogen și hidrocarburi superioare metanului. Din lipsă de date suficiente nu au putut fi stabilite corelații pentru azot și hidrogen sulfurat.

d) Un exemplu de calcul ilustrează modul de utilizare a relațiilor statistice și permite o comparare a rezultatelor obținute cu cele prezentate într-o carte recent publicată [5]. Rezultatele obținute sînt întru totul satisfăcătoare.

Bibliografie

[1] Chercea, G., Mangu, C. *Interdependența dintre caracteristicile cărbunelui, procesul de uscare și măcinare și stabilirea arderii.* In : Energetica, vol. 36, nr. 7 1988, p. 301.

[2] Boie, W. *Vom Brennstoff zum Rauchgas.* Verlag B. G. Teubner, Leipzig, 1957.

[3] Gumz, W. *Kurzes Handbuch der Brennstoff — und Feuerungstechnik — 3.* Auflage — Springer — Verlag, Berlin, 1962.

[4] Brandt, F. *Brennstoffe und Verbrennungsrechnung.* Vulkan-Verlag, Essen, 1981.

[5] Zelkowski, J. *Kohleverbrennung.* Verlag VGB — Kraftwerkstechnik, Essen, 1986.

[6] Jüntgen, H., van Heek, K. H. *Kohlevergasung.* Verlag Karl Thiemig, München, 1981.

[7] Downie, N. M., Heath, R. W. *Basic Statistical Methods,* 4th Edition. Harper & Row Publishers, New York 1974.

(Primit la 14 septembrie 1989, acceptat la 14 noiembrie 1989)

EXTENSIUNEA RELATIVĂ A TEORIEI LUI HERTZ

LA 100 DE ANI DE LA ELABORAREA DE CĂTRE HEINRICH RUDOLPH HERTZ A ELECTRODINAMICII NERELATIVISTE A CORPURILOR IN MIŞCARE

INTRODUCERE

La începutul deceniului al optulea al secolului trecut, Maxwell [1] reuşise să elaboreze o teorie coerentă a fenomenelor electrice şi magnetice, dar numai pentru medii imobile. Interpretarea corectă a unor experienţe de electrodinamică şi optică a corpurilor în mişcare, printre care cele ale lui Rowland, Eichenwald, Wilson, Fizeau etc., dar mai ales celebrele exeperienţe efectuate de Michelson şi Morley, necesitau şi o teorie a electrodinamicii corpurilor în mişcare compatibilă cu teoria lui Maxwell. Conform punctului de vedere mecanicist de interpretare a teoriei lui Maxwell, cîmpul electromagnetic era considerat ca datorat oscilaţiilor unui mediu ipotetic, cu proprietăţi bizare, eterul. Cu privire la acest concept au fost elaborate teorii conform cărora corpurile în mişcarea lor antrenează eterul, fie total (Stokes), fie parţial (Fresnel), fie deloc (Lorentz). Nici una dintre aceste teorii nu a reuşit însă să explice satisfăcător toate experienţele menţionate.

Eliminînd din raţionamente eterul, Albert Einstein are meritul incontestabil de a fi elaborat, în celebra lui lucrare *Zür Elektrodynamik bewegter Korper* [2], teoria relativităţii restrînse, reuşind nu numai să interpreteze corect toate experienţele de electrodinamică şi optică a mediilor în mişcare, dar să şi evidenţieze pentru prima dată caracterul relativist al conceptelor de distanţă, durată, simultaneitate a evenimentelor etc. admise ca absolute în fizica clasică. Succesul teoriei relativităţii restrînse, la care s-a adăugat ulterior şi cel al relativităţii generale, a constituit totodată eşecul definitiv al celorlalte teorii.

Cu cincisprezece ani înaintea lucrării lui Einstein, Heinrich Rudolph Hertz în lucrarea *Über die Grundgleichungen der Elektrodynamic für bewegte Körper* [3] a fundamentat, la îndemnul lui Helmholtz, o teorie a electrodinamicii corpurilor în mişcare intim legată de cea a lui Maxwell. Cunoscută sub denumirea de teoria Maxwell-Hertz, deşi incapabilă de a interpreta unele experienţe la viteze mici (Röntgen, Wilson, Fizeau etc.), a rămas şi pînă astăzi teoria pe baza căreia se concep şi realizează aplicaţiile tehnice ale electrodinamicii, în principal cele de inducţie magnetică prin mişcare, care intervin în convertorii electromecanici.

Perenitatea teoriei lui Hertz în aplicaţiile ingineriei electrice, la o sută de ani de la elaborarea ei, este considerată ca datorită exclusiv simplităţii ei, dar în nici un caz rigorii ştiinţifice. Acest aspect a fost remarcat de Max Born [4]: *Ipoteza antrenării totale a eterului a fost aplicată pentru prima dată în mod sistematic la ecuaţiile de cîmp ale lui Maxwell de către Hertz. Acesta era pe deplin conştient că un asemenea procedeu putea fi numai provizoriu, pentru că la aplicarea lui la procesele optice trebuiau să apară aceleaşi dificultăţi care au determinat şi eşecul teoriei lui Stokes. Însă simplitatea unei teorii la care nu trebuie să se facă deosebirea între mişcarea eterului şi cea a materiei, l-a făcut să o dezvolte şi să o discute în detaliu. Cu ocazia aceasta s-a văzut că fenomenele de inducţie în conductoare mobile, care au de departe cea mai mare importanţă pentru fizica experimentală şi pentru tehnică, sînt redate în mod corect de teoria lui Hertz.* În afară de acreditarea ideii de simplitate lipsită de rigoare ştiinţifică, se mai afirmă că pentru $v/c \sim 0$, ecuaţiile lui Hertz rezultă din cele ale teoriei Einstein-Minkowski, ceea ce nu este decît în parte corect. De exemplu, relaţiile de transformare ale magnetizaţiei $\mathbf{M}$ nu sînt identice în cele două teorii (în prima $\mathbf{M} = \mathbf{M}_0$, iar în a doua $\mathbf{M} = \mathbf{M}_0 - \mathbf{v} \times \mathbf{P}_0$). Criticată sever de Weil, Pauli, Lorentz, Max von Laue etc. pentru apartenenţa ei la teoria eterului complet antrenat, teoria lui Hertz e menţionată din ce în ce mai rar în publicaţiile de electrodinamică a corpurilor în mişcare şi apare mai ales în cele de istoria fizicii şi tehnicii. S-a ajuns la situaţia în care tratate de electrodinamică aplicată, de altfel deosebit de valoroase, [5—6], deşi prezintă teoria lui Hertz nu-i citează numele. Parafrazîndu-l pe Marchez cu celebra lui *O sută de ani de singurătate*, asupra numelui lui Hertz, ca teoretician al electrodinamicii la viteze nerelativiste, s-a aşternut *o sută de ani de uitare*. Experienţa autorului în pregătirea de ingineri electricieni la disciplina de Bazele electrotehncii arată cît de e dificil şi de neconvingător ca expunerea teoriei lui Hertz să se încheie cu precizarea că, de fapt, teoria prezentată nu are rigoarea pe care ar trebui să o aibă în raport cu importanţa ce i se acordă în pregătirea de specialitate. Se acceptă, în acest fel, existenţa ale două teorii a electrodinamicii corpurilor în mişcare, fundamentate complet diferit [7]: teoria lui Hertz aplicabilă pentru orice fel de mişcare, inerţială sau neinerţială, dar la viteze mici şi teoria Einstein Minkowski valabilă numai pentru mişcări inerţiale. Comunitatea ştiinţifică internaţională recunoaşte şi omagiază în Hertz pe ilustrul experimentator care în urmă cu 101 ani a confirmat existenţa undei electromagnetice prevăzută teoretic de Maxwell; în schimb contribuţia lui ca teoretician al electrodinamicii corpurilor în mişcare este consemnată doar în lucrări de istoria fizicii, în şirul acelor încercări nereuşite care au precedat teoria relativităţii.

Avantajele de necontestat ale teoriei lui Hertz, printre care: caracterul fenomenologic, operarea cu mărimi proprii direct măsurabile, formularea intrinsecă a ecuaţiilor independent de natura carteziană a sistemului de referinţă dar mai ales, şi de cea mai mare importanţă, aplicabilitatea ei pentru orice fel de mişcări inerţiale sau neinerţiale (translaţii şi rotaţii accelerate); pe de altă parte, restricţia impusă de relativitatea restrînsă numai la mişcări inerţiale (incompatibilă cu cinematica echipamentelor electrotehnice), precum şi unele dificultăţi pe care le întîmpină electrodinamica Einstein-Minkowski [8—10], au constituit principalele motivaţii ale încercării autorului de a fundamenta riguros teoria lui Hertz, în sensul extinderii valabilităţii ei şi la viteze relativiste, teorie numită — ca o recunoaştere a contribuţiei şi de teoretician a lui Hertz — *Electrodinamica hertziană a corpurilor în mişcare la viteze relativiste* [10]. Noua teorie se poate elabora independent de teoria lui Einstein. Totuşi analiza calitativă a teoriei lui Maxwell pentru medii imobile şi a teoriilor Maxwell-Hertz şi Einstein-Minkowski pentru corpuri în mişcare, prezentată în paragrafele 1—3, evidenţiază caracterul de metateorie a noii electrodinamici.

1. Analiza calitativă a teoriei lui Maxwell pentru medii imobile

Academicianul Remus Răduleţ are meritul de a fi sistematizat teoriile macroscopice ale lui Maxwell şi Hertz prin introducerea întîi a mărimilor primitive electrice şi magnetice de stare locală şi instantanee a corpurilor şi cîmpului şi apoi prin formularea legilor prin generalizare inductivă a unor relaţii stabilite experimental [11]. Acest procedeu va fi aplicat în analiza calitativă a teoriilor electrodinamicii.

1.1. Cu privire la conceptele şi legile teoriei lui Maxwell. În vederea elaborării teoriei locale a cîmpului electromagnetic pentru medii imobile, Maxwell a avut la dispoziţie cinci relaţii stabilite experimental de Ampère, Faraday etc. formulate global pe varietăţi spaţiale finite (volume, suprafeţe şi curbe închise şi deschise). Aceste relaţii, valabile pentru

orice mod de variație în timp a mărimilor și pentru orice fel de mișcare a corpurilor sînt [12]:

— relațiile globale ale fluxurilor electric ψ_Σ și magnetic Φ_Σ;

$$\psi_\Sigma = q_\Sigma; \qquad \Phi_\Sigma = 0; \tag{1}$$

— relațiile globale ale lui Faraday, Ampère și conservării sarcinii electrice,

$$u_{e\Gamma} = -\frac{d\Phi_{s_\Gamma}}{dt}; \quad u_{m\Gamma} = i_{s_\Gamma}; \quad i_\Sigma = -\frac{dq_\Sigma}{dt}, \tag{2}$$

în care:

q_Σ este sarcina electrică situată în domeniul v_Σ mărginit de suprafața închisă Σ;

$u_{e\Gamma}(u_{m\Gamma})$ — tensiunea electromotoare (magnetomotoare) în lungul curbei închise Γ;

$\Phi_{S_\Gamma}(i_{S_\Gamma})$ — fluxul magnetic (intensitatea curentului electric de conducție) printr-o suprafață S_Γ delimitată de Γ;

i_Σ — curentul total prin Σ (fig. 1).

Caracterul macroscopic al teoriei implică repartiția continuă a substanței ponderabile și prin urmare nu se ia în considerare structura discretă a acesteia.

O teorie locală a cîmpului electromagnetic nu poate fi elaborată decît definind în prealabil mărimile locale din mărimile globale care intervin în relațiile (1,2). În acest scop, pe baza conceptului de linie de cîmp (intuită de Faraday ca linie de forță), Maxwell interpretează numărul liniilor de cîmp uniform pe unitatea de suprafață ca densitate de flux electric, respectiv magnetic, adică *inducțiile electrică* **D** și *magnetică* **B** (expresiile electric flux density și magnetic flux density, fiind încă păstrate în literatura de limbă engleză); corespunzător, definește *densitatea curentului electric de conducție* **J**, al cărui flux este curentul i. În mod similar, Maxwell a introdus *intensitățile cîmpului electric* **E**, respectiv *magnetic* **H** corespunzînd tensiunilor electrică u_e, respectiv magnetică u_m pe unitatea de lungime în cîmp uniform. La fel ca masa, sarcina electrică se consideră repartizată cu *densitate de volum* ρ, iar stările de polarizare electrică, respectiv magnetică cu vectori

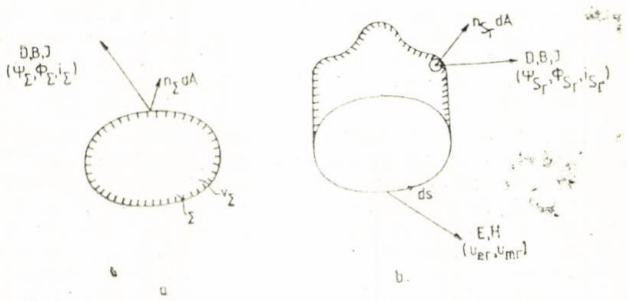


Fig. 1

de *polarizare electrică* **P** și *magnetizație* **M** [12]. Cu cele opt mărimi locale **D**, **E**, **P**, **B**, **H**, **M**, **J** și ρ relațiile globale (1,2) se transformă în *relațiile integrale*,

$$\oint_\Sigma \mathbf{D}n_\Sigma dA = \int_{v_\Sigma} \rho dv; \qquad \oint_\Sigma \mathbf{B}n_\Sigma dA = 0; \tag{3}$$

$$\oint_\Sigma \mathbf{J}n_\Sigma dA = -\frac{d}{dt}\int_{v_\Sigma} \rho\, dv; \qquad \oint_\Gamma \mathbf{E}ds = -\frac{d}{dt}\int_{s_\Gamma} \mathbf{B}n_{s_\Gamma} dA:; \tag{4}$$

$$\oint_\Gamma \mathbf{H}ds = \int_{s_\Gamma} \mathbf{J}n_{s_\Gamma} dA. \tag{5}$$

Maxwell a stabilit că inducțiile, intensitățile și vectorii de polarizație satisfac relații de dependență liniară [12]

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0\mathbf{E} + \mathbf{P}; \qquad \mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}), \tag{6}$$

numite și *ecuații constitutive*. În absența polarizațiilor permanente, vectorii **P** și **M** sînt funcții de **E**, respectiv **H**, iar în conductoare dependența lui **J** de **E** rezultă din relația lui Ohm,

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}(\mathbf{E}); \mathbf{M} = \mathbf{M}(\mathbf{H}); \mathbf{J} = \mathbf{J}(\mathbf{E}). \tag{7}$$

În acest fel, pentru elaborarea teoriei locale a electrodinamicii corpurilor imobile, Maxwell a stabilit *sistemul hibrid* constituit din cinci relații integrale (3—5) și cinci ecuații locale (6, 7).

Orice teorie de cîmp de vectori **F** și scalari Λ, deci și teoria cîmpului electromagnetic își propune să determine mărimile vectoriale **F(D, E, P, B, H, M, J, A)** și scalare Λ (ρ, V) în fiecare punct din domeniul v_Σ mărginit de suprafața de frontieră Σ și în fiecare moment t, (**A** respectiv V fiind potențialele electrodinamice vector, respectiv scalar).

În analiza vectorială, o teoremă pe care — datorită rolului important în elaborarea electrodinamicii hertziene — o vom numi *teorema fundamentală a cîmpurilor de vectori* (prescurtat TFCV), stabilește condițiile în care vectorul cîmp **F** este univoc determinat. Conceptul de vecinătate spațială (spațio-temporală), care intervine în formularea acestei teoreme sugerează principiul de contiguitate conform căruia interacțiunile fizice se transmit din aproape în aproape în spațiu și timp.

1.2. TFCV și conceptul de vecinătate spațială (spațio-temporală). În formulare integrală, TFCV se enunță astfel: vectorul cîmp **F(r, t)**, reperat de raza vectoare **r** la momentul t, este complet determinat în domeniul v_{Σ_f} mărginit de supra-

față de frontieră Σ_f dacă se cunosc [12]:

— fluxurile ψ_Σ (integralele de suprafață) prin toate suprafețele închise Σ situate în v_{Σ_f} (fig. 1 *a*),

$$\psi_\Sigma = \oint_\Sigma \mathbf{F} n_\Sigma \, dA; \qquad \Sigma \in v_{\Sigma_f} \cup \Sigma_f; \tag{8}$$

— tensiunile motoare u_Γ (integralele curbilinii) prin toate curbele închise Γ situate în v_{Σ_f} (fig. 1*b*),

$$u_\Gamma = \oint_\Gamma \mathbf{F} \, ds; \qquad \Gamma \in v_{\Sigma_f} \cup \Sigma_f. \tag{9}$$

și condițiile la limită (inițiale și pe frontieră).

Referitor la un punct $P \in v_\Sigma$, $v_\Sigma \cup \Sigma$ este o vecinătate spațială închisă a lui P, care la rîndul ei aparține unei baze de vecinătăți închise în care $v_{\Sigma_f} \cup \Sigma_f$ este vecinătatea limită superioară (fig. 2 *a*). Aceeași valoare a fluxului ψ_Σ poate corespunde unor vecinătăți deschise v_Σ diferite. Pentru a elimina acest inconvenient, se împarte ψ_Σ prin volumul v_Σ și restringînd vecinătățile bazei către punctul *P*, se obține la limită pentru $v_\Sigma \to 0$, mărimea scalară, *divergență a vectorului* **F**,

$$\operatorname{div} \mathbf{F} = \lim_{v_\Sigma \to 0} \frac{\oint_\Sigma \mathbf{F} n_\Sigma \, dA}{v_\Sigma}. \tag{10}$$

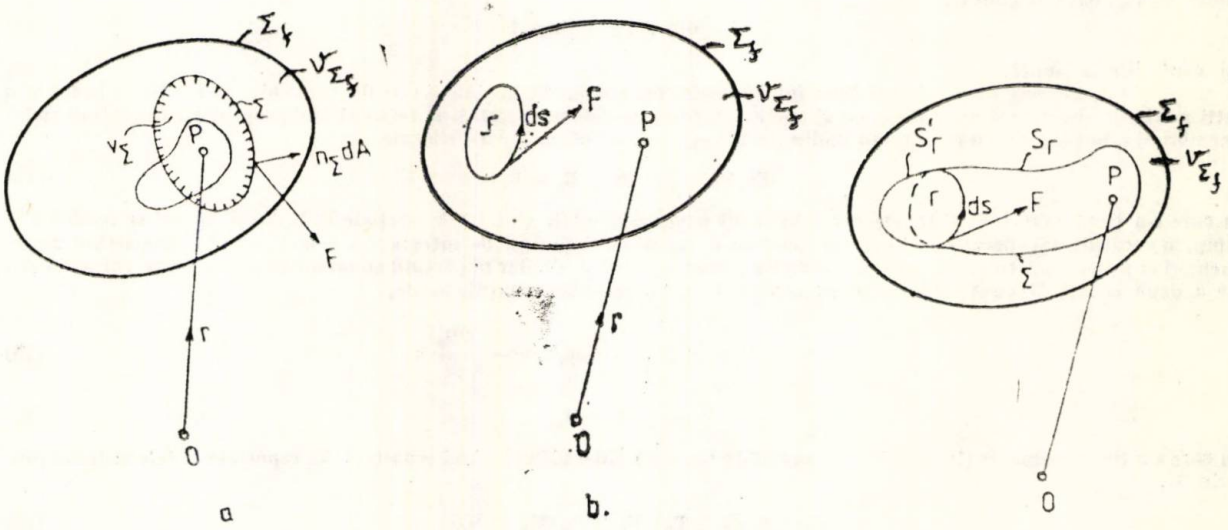


Fig. 2

Sub această formă, div **F** este un invariant al cîmpului de vectori, independent de alegerea bazei de vecinătăți sau a sistemului de referință la care este raportat vectorul **F**.

O încercare de a proceda la fel cu tensiunea motoare u_Γ întîmpină dificultatea că o curbă Γ nu prezintă o conexiune cu punctul *P*, similară ca în cazul fluxului ψ_Σ(fig. 2*b*). Această dificultate se elimină observînd că orice curbă Γ se poate considera trasată pe o suprafață Σ a unei vecinătăți oarecare a punctului *P* (fig. 2*c*). În acest fel, curba Γ se restrînge în jurul lui *P* odată cu restrîngerea bazei de vecinătăți în jurul lui *P*. Curba Γ împarte suprafața închisă Σ în suprafețele deschise S_Γ și S'_Γ, vectorul $\mathbf{A}_\Gamma$ al oricăreia dintre aceste suprafețe care se sprijină pe Γ fiind un invariant al acestuia (fig. 3),

$$\mathbf{A}_\Gamma = \int_{S_\Gamma} \mathbf{n}_{S_\Gamma} \, dA. \tag{11}$$

Întrucît odată cu restrîngerea vecinătăților v_Σ se modifică și valoarea lui $\mathbf{A}_\Gamma$ se împarte tensiunea u_Γ prin aria $\mathbf{A}_\Gamma$ și la limită pentru $\mathbf{A}_\Gamma \to 0$, se obține mărimea scalară,

$$\lim_{\mathbf{A}_\Gamma \to 0} \frac{\oint_{S_\Gamma} \mathbf{F} \, ds}{\mathbf{A}_\Gamma}, \tag{12}$$

care însă nu este un invariant, deoarece pe aceeaşi suprafaţă Σ pot fi trasate o infinitate de curbe Γ cărora le corespund o infinitate de vectori arie $\mathbf{A}_\Gamma$. Orientarea de versor n_Γ a lui A_Γ pentru care expresia (12) este maximă, determină vectorul, *rotor al vectorului* **F**,

$$\text{rot } \mathbf{F} = n_\Gamma \lim_{A_\Gamma \to 0} \frac{\oint_\Gamma \mathbf{F} d\mathbf{s}}{A_\Gamma}. \tag{13}$$

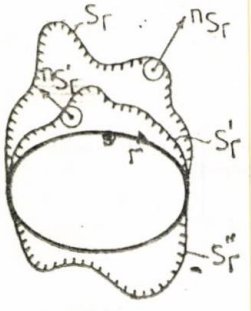


Fig. 3

Sub această formă, rot **F** este un invariant al cîmpului de vectori independent de alegerea bazei de vecinătăţi sau a sistemului de referinţă la care este raportat **F**.

Formulării integrale (8, 9) a TFCV îi corespunde formularea locală : vectorul cîmp $\mathbf{F}(\mathbf{r}, t)$ este complet determinat în v_{Σ_f} dacă se cunosc,

$$\text{div } \mathbf{F}; \quad \text{rot } \mathbf{F} \tag{14}$$

şi condiţiile la limită.

1.3. Formele locale ale ecuaţiilor lui Maxwell. Pentru medii imobile, ($\mathbf{v} = 0$), convenim să notăm cu indicele 0 atît mărimile electrice şi magnetice, cît şi operatorii corespunzători, raportaţi la referenţialul propriu S_0. Împărţind ambii membri ai ecuaţiilor (3) cu v_Σ şi luînd limita pentru $v_\Sigma \to 0$, se obţin ecuaţiile locale,

$$\text{div}_0 \mathbf{D}_0 = \rho_0; \quad \text{div}_0 \mathbf{B}_0 = 0, \tag{15}$$

în care s-a ţinut seama de (10). Deoarece în cazul mediilor imobile varietăţile spaţiale Γ, Σ, S_Γ şi v_Σ nu se modifică în timp, în eucaţiile (4) operatorii de derivare parţială în raport cu timpul şi de integrare spaţială comută. Împărţind ambii membri ai primei ecuaţii (4) cu v_Σ şi luînd limita pentru $v_\Sigma \to 0$ şi similar împărţind ambii membri ai ecuaţiei (5) şi ai celei de a doua ecuaţii (4) cu A_Γ şi luînd limita pentru $A_\Gamma \to 0$, se obţin ecuaţiile locale,

$$\text{div}_0 \mathbf{J}_0 = -\frac{\partial \rho_0}{\partial t_0}; \quad \text{rot}_0 \mathbf{E}_0 = -\frac{\partial \mathbf{B}_0}{\partial t}; \tag{16}$$

$$\text{rot}_0 \mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0, \tag{17}$$

în care s-a ţinut seama de (10) şi (13). Adăugînd la ecuaţiile (15—17) cele cinci ecuaţii (6, 7) raportate la referenţialul propriu S_0,

$$\mathbf{D}_0 = \varepsilon_0 \mathbf{E}_0 + \mathbf{P}_0; \quad \mathbf{B}_0 = \mu_0 (\mathbf{H}_0 + \mathbf{M}_0); \tag{18}$$

$$\mathbf{P}_0 = \mathbf{P}_0 (\mathbf{E}_0); \quad \mathbf{M}_0 = \mathbf{M}_0 (\mathbf{H}_0); \quad \mathbf{J}_0 = \mathbf{J}_0 (\mathbf{E}_0), \tag{19}$$

se deduce *sistemul celor zece ecuaţii locale ale lui Maxwell.*

1.4. Analiza sistemică a ecuaţiilor lui Maxwell. Analiza calitativă a teoriei oricărui domeniu al fizicii este o analiză sistemică dacă necesită verificarea *coerenţei, noncontradicţiei, independenţei şi completitudinii* ecuaţiilor care o descriu [13].

Coerenţa ecuaţiilor lui Maxwell se examinează cu referire la TFCV conform căreia ecuaţiile (15—19) determină oricare dintre vectorii $\mathbf{F}_0$ prin $\text{div}_0 \mathbf{F}_0$, $\text{rot}_0 \mathbf{F}_0$ şi condiţiile la limită. De exemplu, pentru determinarea lui $\mathbf{E}_0$, din a doua ecuaţie (16) rezultă $\text{rot}_0 \mathbf{E}_0$, iar din prima ecuaţie (15) se deduce,

$$\text{div}_0 \mathbf{E}_0 = \frac{1}{\varepsilon_0} (\rho_0 + \rho_{0p}),$$

în care $\rho_{0p} = -\text{div}_0 \mathbf{P}_0$ este densitatea sarcinii electrice de polarizaţie. Similar pentru determinarea lui $\mathbf{H}_0$, din ecuaţia (17) rezultă $\text{rot}_0 \mathbf{H}_0$, iar din a doua ecuaţie (18) se obţine,

$$\text{div}_0 \mathbf{H}_0 = \rho_{0mp}/\mu_0,$$

în care $\rho_{0mp} = -\mu_0 \text{div}_0 \mathbf{M}_0$ este densitatea sarcinii de polarizaţie magnetică. În mod similar se verifică coerenţa şi pentru celelalte mărimi vectoriale electrice şi magnetice.

Maxwell a observat însă că prima ecuaţie (16) şi ecuaţia (17) sînt *contradictorii*. Luînd divergenţa ambilor membri ai ecuaţiei (17) se obţine $\text{div}_0 \mathbf{J}_0 = 0$, ceea ce contrazice prima ecuaţie (16). Luînd însă derivata în raport cu timpul a ambilor membri ai primei ecuaţii (15),

$$\text{div}_0 \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t_0} = \frac{\partial \rho_0}{\partial t_0},$$

și introducînd aditiv în membrul al doilea al ecuației (17) termenul $\partial \mathbf{D}_0/\partial t_0$, acesta se transformă cum urmează,

$$\mathrm{rot}_0 \mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t_0}, \tag{20}$$

și în acest fel contradicția semnalată este eliminată. Maxwell are meritul de a fi prevăzut că nu numai curentul electric de conducție de densitate **J**, dar și cel de deplasare de densitate $\partial \mathbf{D}_0/\partial t_0$ (așa cum a denumit el acest termen) este capabil să producă cîmp magnetic. Experiența confirmă curentul de deplasare care justifică curentul electric variabil în timp în circuitul cu condensator. Este un exemplu de modul în care exclusiv prin analiză logică (metateorie), se anticipă existența unui fenomen fizic. Ecuației locale (20) îi corespund următoarele relații globală, respectiv integrală,

$$u_{m\Gamma} = i_{S_\Gamma} + \frac{\mathrm{d}\psi_{S_\Gamma}}{\mathrm{d}t}; \quad \oint_\Gamma \mathbf{H}\,\mathrm{d}\mathbf{s} = \int_{S_\Gamma} \mathbf{J}\,\mathbf{n}_{S_\Gamma}\,\mathrm{d}A + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int_{S_\Gamma} \mathbf{D}\,\mathbf{n}_{S_\Gamma}\mathrm{d}A, \tag{21}$$

care corectează a doua ecuație (2), respectiv ecuația (5). Ecuațiile (21) se numesc formele globală, respectiv integrală ale *legii circuitului magnetic*, corespunzînd formei locale (20).

Cu excepția ecuațiilor (16, 17) care — conținînd derivate în raport cu timpul au un caracter procesual — sînt *ecuații de evoluție*, celelalte ecuații (15) și (18, 19) descriu starea la un moment dat și sînt, prin urmare, *ecuații de stare*. Cu referire la această clasificare, se precizează că Maxwell a demonstrat că ecuația de stare a lui Ampère (17) este un caz particular al ecuației de evoluție (20).

Sistemul ecuațiilor lui Maxwell este *independent* dacă prin operații algebrice sau de analiză (aplicarea operatorilor div_0, rot_0, grad_0, $\partial/\partial t_0$), nici una din ecuații nu rezultă din celelalte. Luînd divergența ambilor membri ai celei de a doua ecuații (16) se obține,

$$\mathrm{div}_0 \mathrm{rot}_0 \mathbf{E}_0 = -\,\mathrm{div}_0 \frac{\partial \mathbf{B}_0}{\partial t_0} = -\,\frac{\partial}{\partial t_0}\,\mathrm{div}_0\,\mathbf{B}_0 = 0,$$

adică $\mathrm{div}_0 \mathbf{B}_0 = \mathrm{const.}$ în timp. Pînă la o constantă în raport cu timpul (nesemnificativă pentru cîmpul electromagnetic) rezultă a doua ecuație (15). Ca urmare, cele două ecuații sînt liniar dependente. Dintre cele trei ecuații scalare, în care se descompune cea de a doua ecuație (16) și a doua ecuație scalară (15), trebuie eliminată una dintre ele. În scopul menținerii formulării vectoriale e preferabil să se elimine cea de a doua ecuație (15). Similar, luînd divergența ambilor membri ai ecuației (20) și ținînd seama de prima ecuație (15),

$$\mathrm{div}_0 \mathrm{rot}_0 \mathbf{H}_0 \equiv 0 = \mathrm{div}_0 \mathbf{J}_0 + \mathrm{div}_0 \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t_0} = \mathrm{div}_0 \mathbf{J}_0 + \frac{\partial}{\partial t_0}\,\mathrm{div}_0\,\mathbf{D}_0 = \mathrm{div}_0 \mathbf{J}_0 + \frac{\partial \varrho_0}{\partial t_0},$$

se regăsește prima ecuație (16). Ca urmare, ecuațiile (15, 16) și (20) sînt liniar dependente și dintre cele cinci ecuații scalare care le corespund urmează a fi suprimată o ecuație scalară. Din același motiv al menținerii formulării vectoriale este preferabil să se elimine prima ecuație (10). În consecință sistemul coerent, noncontradictoriu și independent al ecuațiilor lui Maxwell este constituit din următoarele 7 ecuații vectoriale și o ecuație scalară,

$$\mathbf{D}_0 = \varepsilon_0 \mathbf{E}_0 + \mathbf{P}_0;\ \mathbf{B}_0 + \mu_0 (\mathbf{H}_0 + \mathbf{M}_0);\ \mathrm{div}_0 \mathbf{D}_0 = \varrho_0; \tag{22}$$

$$\mathrm{rot}_0 \mathbf{E}_0 = -\,\frac{\partial \mathbf{B}_0}{\partial t_0}; \qquad \mathrm{rot}_0 \mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t_0}; \tag{23}$$

$$\mathbf{P}_0 = \mathbf{P}_0 (\mathbf{E}_0);\ \mathbf{M}_0 = \mathbf{M}_0 (\mathbf{H}_0);\ \mathbf{J}_0 = \mathbf{J}_0 (\mathbf{E}_0). \tag{24}$$

Sistemul ecuațiilor (22—24) fiind constituit din $7\times3+1=22$ ecuații scalare cu $7\times3+1=22$ scalari necunoscuți satisface și condiția de *completitudine*.

2. Analiza calitativă a electrodinamicii Einstein-Minkowski

Prima dificultate care intervine în formularea unei electrodinamici a corpurilor în mișcare consistă în intervenția unei variabile suplimentare, viteza v, care ar implica o ecuație suplimentară. Einstein a eliminat această dificultate postulînd *principiul relativității restrînse sau covarianței*, conform căruia ecuațiile legilor naturii au aceeași formă în raport cu oricare dintre referențialele aflate între ele în mișcare. Ca urmare, și în cazul electrodinamicii, ecuațiile (15, 16) și (18, 20) raportate la referențialul S_0 (care nu e neapărat cel propriu) se transcriu identic suprimînd indicele 0, adică atît mărimile electrice și magnetice, cît și coordonatele se raportează la referențialul S față de care S_0 se mișcă cu viteza v. În tabelul 1 se prezintă ecuațiile electrodinamicii Einstein-Minkowski scrise în cele două referențiale S_0 și S. Întrucît oricare dintre vectorii **F** (**D**, **E**, **P**, **B**, **H**, **M**, **J**, **A**) și scalarii Λ (ϱ, V) sînt funcții de $\mathbf{F}_0$ ($\mathbf{D}_0$, $\mathbf{E}_0$, $\mathbf{P}_0$, $\mathbf{B}_0$, $\mathbf{H}_0$, $\mathbf{M}_0$, $\mathbf{J}_0$, $\mathbf{A}_0$), Λ_0 (ϱ_0, V_0) și v, aceasta din urmă nu intervine explicit în ecuațiile raportate la referențialul S. În acest fel principiul covarianței transferă viteza v în relațiile de transformare ale mărimilor **F** și Λ.

Determinarea relațiilor de transformare a mărimilor electrice și magnetice de la un referențial la alt referențial necesită determinarea în prealabil a relațiilor de transformare a coordonatelor spațiotemporale între cele două referențiale. Deoarece liniaritatea ecuațiilor electrodinamicii raportate la oricare dintre referențiale, implică liniaritatea relațiilor de transformare a mărimilor, la rîndul lor acestea presupun relații liniare de transformare a coordonatelor spațio-temporale. Unicul sistem de coordonate, ale cărui relații de transformare a coordonatelor sînt liniare, este cel cartezian [14], ceea ce explică opțiunea relativității restrînse pentru acest sistem de coordonate. Jacobianul transformării impune însă ca viteza să fie o constantă atît în spațiu, cît și în timp. O astfel de mișcare este inerțială și în consecință în teoria relativității restrînse intervin numai *referențiale inerțiale*, aflate între ele în translație uniformă.

Tabelul 1

Ecuațiile și relațiile de transformare a mărimilor electrice și magnetice în electrodinamica Einstein-Minkowski

Referențialul inerțial S (în repaus relativ)	Referențialul inerțial S_0 (în mișcare cu viteza v)
Ecuațiile electrodinamicii în S	Ecuațiile electrodinamicii în S_0
$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$; $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$;	$\mathbf{D}_0 = \varepsilon_0 \mathbf{E}_0 + \mathbf{P}_0$; $\mathbf{B}_0 = \mu_0 (\mathbf{H}_0 + \mathbf{M}_0)$;
$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$; $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$; $\operatorname{div} \mathbf{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$;	$\operatorname{div}_0 \mathbf{D}_0 = \rho_0$; $\operatorname{div}_0 \mathbf{B}_0 = 0$; $\operatorname{div}_0 \mathbf{J}_0 = -\frac{\partial \rho_0}{\partial t_0}$;
$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$; $\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$;	$\operatorname{rot}_0 \mathbf{E}_0 = -\frac{\partial \mathbf{B}_0}{\partial t_0}$; $\operatorname{rot}_0 \mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t_0}$;
$\mathbf{P} = \mathbf{P}(\mathbf{E})$; $\mathbf{M} = \mathbf{M}(\mathbf{H})$; $\mathbf{J} = \mathbf{J}(\mathbf{E})$.	$\mathbf{P}_0 = \mathbf{P}_0(\mathbf{E}_0)$; $\mathbf{M}_0 = \mathbf{M}_0(\mathbf{H}_0)$; $\mathbf{J}_0 = \mathbf{J}_0(\mathbf{E}_0)$.
Relații de transformare $S_0 \to S$	Relații de transformare $S \to S_0$
$\mathbf{E} = \gamma_L(\mathbf{E} - \mathbf{v} \times \mathbf{B}_0) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{E}_0 \cdot \mathbf{v})$;	$\mathbf{E}_0 = \gamma_L(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{v})$;
$\mathbf{B} = \gamma_L\left(\mathbf{B}_0 + \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{E}_0\right) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{B}_0 \cdot \mathbf{v})$;	$\mathbf{B}_0 = \gamma_L\left(\mathbf{B} - \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{E}\right) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{B} \cdot \mathbf{v})$;
$\mathbf{H} = \gamma_L(\mathbf{H}_0 + \mathbf{v} \times \mathbf{D}_0) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{H} \cdot \mathbf{v})$;	$\mathbf{H}_0 = \gamma_L(\mathbf{H} - \mathbf{v} \times \mathbf{D}) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{H} \cdot \mathbf{v})$;
$\mathbf{D} = \gamma_L\left(\mathbf{D}_0 - \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{H}_0\right) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{D} \cdot \mathbf{v})$;	$\mathbf{D}_0 = \gamma_L\left(\mathbf{D} + \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{H}\right) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{D} \cdot \mathbf{v})$;
$\mathbf{M} = \gamma_L(\mathbf{M}_0 - \mathbf{v} \times \mathbf{P}_0) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{M}_0 \cdot \mathbf{v})$;	$\mathbf{M}_0 = \gamma_L(\mathbf{M} + \mathbf{v} \times \mathbf{P}) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{M} \cdot \mathbf{v})$;
$\mathbf{P} = \gamma_L\left(\mathbf{P}_0 + \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{M}_0\right) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{P}_0 \cdot \mathbf{v})$;	$\mathbf{P}_0 = \gamma_L\left(\mathbf{P} - \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{M}\right) - \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{P} \cdot \mathbf{v})$;
$\mathbf{J} = \mathbf{J}_0 + \gamma_L \rho_0 \mathbf{v} + \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{J}_0 \cdot \mathbf{v})$; $\rho = \gamma_L\left(\rho_0 + \frac{1}{c^2}\mathbf{J}_0 \cdot \mathbf{v}\right)$;	$\mathbf{J}_0 = \mathbf{J} - \gamma_L \rho \mathbf{v} + \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{J} \cdot \mathbf{v})$; $\rho_0 = \gamma_L\left(\rho - \frac{1}{c^2}\mathbf{J} \cdot \mathbf{v}\right)$;
$\mathbf{A} = \mathbf{A}_0 + \gamma_L \frac{\mathbf{v}}{c^2} V_0 + \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{A}_0 \cdot \mathbf{v})$; $V = \gamma_L(V_0 + \mathbf{A}_0 \cdot \mathbf{v})$;	$\mathbf{A}_0 = \mathbf{A} - \gamma_L \frac{\mathbf{v}}{v^2} V + \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{A} \cdot \mathbf{v})$; $V_0 = \gamma_L(V - \mathbf{A} \cdot \mathbf{v})$
$\gamma_L = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$; $\varkappa_L = \gamma_L - 1$	

Maxwell a demonstrat că în vid oricare dintre mărimile de cîmp satisfac o ecuație de tip hiperbolic. Astfel potențialul electrodinamic vector satisface ecuația :

$$\Delta_0 \mathbf{A}_0 - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \mathbf{A}_0}{\partial t_0^2} = 0,$$

în care $\varepsilon_0 \mu_0 = c^{-2}$. Întrucît soluția acestei ecuații este o undă care se propagă cu viteza c, lui Maxwell îi revine meritul de a fi intuit că lumina este o undă electromagnetică, ce se propagă în vid cu viteza c, ipoteză confirmată experimental de Hertz. Dar, în conformitate cu principiul relativității restrînse, potențialul vector $\mathbf{A}$ raportat la referențialul inerțial față de care S_0 se deplasează cu viteza $\mathbf{v}$, satisface o ecuație de aceeași formă,

$$\Delta \mathbf{A} - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \mathbf{A}_0}{\partial t_0^2} = 0,$$

prin urmare și în raport cu S viteza de propagare a luminii în vid este aceeași c. Einstein a formulat al doilea postulat, cel al *invarianței vitezei luminii în vid*, conform căruia viteza de propagare a luminii în vid este aceeași, indiferent de starea de mișcare sau de repaus relativ a sursei și observatorului. În consecință, fronturile undelor sferice apar centrate în originile referențialelor S_0 și S și ca urmare sînt satisfăcute relațiile,

$$x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 = c^2 t_0^2 \; ; \quad x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2.$$

Tabelul 2

Relațiile de transformare a coordonatelor în teoria relativității restrînse

Referențialul inerțial S (în repaus relativ)	Referențialul inerțial S_0 (în mișcare cu viteza v)
Transformata specială Lorentz	Transformata specială Lorentz
$S_0(x_0, y_0, z_0, t_0) \rightarrow S(x, y, z, t)$	$S(x, y, z, t) \rightarrow S_0(x_0, y_0, z_0, t_0)$
$x = \gamma(x_0 + v t_0)$; $y = y_0$; $z = z_0$;	$x_0 = \gamma_L(x - vt)$; $y_0 = y$; $z_0 = z$;
$t = \gamma_L\left(t_0 + \frac{x_0 v}{c^2}\right)$; $\gamma_L = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$	$t_0 = \gamma_L\left(t_0 - \frac{xv}{c^2}\right)$
Transformata generală Lorentz	Transformata generală Lorentz
$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{r}_0 \cdot \mathbf{v}) + \gamma_L \mathbf{v} t_0$;	$\mathbf{r}_0 = \mathbf{r} + \varkappa_L \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{r} \cdot \mathbf{v}) - \gamma_L \mathbf{v} t$;
$t = \gamma_L\left(t_0 + \frac{\mathbf{r}_0 \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)$; $\varkappa_L = \gamma_L - 1$	$t_0 = \gamma_L\left(t - \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{v}}{c^2}\right)$

Dacă viteza **v** este orientată după una din axele de coordonate, Einstein regăsește relațiile transformatei speciale stabilite anterior de Lorentz, prezentate în tabelul 2.

Cu relațiile de transformare a coordonatelor, problema determinării formulelor de transformare a mărimilor electrice și magnetice este rezolvată. Prezentate în tabelul 1 pentru viteza **v** avînd o orientare oarecare în raport cu axele de coordonate, aceste formule se grupează pe perechi cum urmează :

— *perechile de vectori* (**E**, **B**,), (**H**, **D**) și (**M**, **P**) de forma (**F**, **G**), (25 a)

în care :

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{F}_0, \mathbf{G}_0, \mathbf{v}); \quad \mathbf{G} = \mathbf{G}(\mathbf{G}_0, \mathbf{F}_0, \mathbf{v}); \tag{25 b}$$

— *perechile vector-scalar* (**J**, ρ) și (**A**, V) de forma (**K**, Λ), (26 a)

în care,

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}(\mathbf{K}_0, \Lambda_0, \mathbf{v}); \quad \Lambda = (\Lambda_0, \mathbf{K}_0, \mathbf{v}). \tag{26 b}$$

Formulele de transformare ale perechilor (**F**, **G**),

$$\mathbf{F} = \gamma_L(\mathbf{F}_0 + a\mathbf{v} \times \mathbf{G}_0) - \frac{\varkappa_2}{v^2}\mathbf{v}(\mathbf{F}_0 \cdot \mathbf{v}); \tag{27 a}$$

$$a = \begin{cases} 1\,; (\mathbf{E}, \mathbf{B})\,(\mathbf{M}, \mathbf{P})\,; \\ -1\,; (\mathbf{H}, \mathbf{D},) \end{cases}$$

$$\mathbf{G} = \gamma_L(\mathbf{G}_0 - \frac{a}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{F}_0) - \frac{\varkappa_2}{v^2}\mathbf{v}(\mathbf{G}_0 \cdot \mathbf{v}); \tag{27 b}$$

se disting de cele ale perechilor (**K**, Λ),

$$K = K_0 + \gamma_L \frac{a}{c^2}\Lambda_0 v + \frac{\varkappa_2}{c^2} v(K_0 \cdot v); \tag{28 a}$$

$$a = \begin{cases} c^2\,; (\mathbf{J}, \rho)\,; \\ 1\,; (\mathbf{A}, V), \end{cases}$$

$$\Lambda = \gamma_L(\Lambda_0 + \frac{a}{c^2}\mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{v}); \tag{28 b}$$

și prin relații diferite de conservare a mărimilor vectoriale,

$$\mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{F}_0 \cdot \mathbf{v}; \quad \mathbf{G} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{G}_0 \mathbf{v}; \tag{29}$$

$$\mathbf{K} \times \mathbf{v} = \mathbf{K}_0 \times \mathbf{v}. \tag{30}$$

Observație. Se precizează că Einstein nu a postulat covarianța ecuațiilor macroscopice ale lui Maxwell, ci a celor microscopice Maxwell-Lorentz. Această opțiune se explică prin natura, în general neomogenă, a mediului în teoria lui Maxwell. Pentru a evita dificultățile care intervin în cazul mediului neomogen, Einstein a preferat mediul lorentzian omogen constituit din sarcini electrice punctiforme situate în vid. Ulterior Hermann Minkowski [15] aplicînd raționamentul lui Lorentz de mediere spațio-temporală pe infiniți mici fizici, a reușit să formuleze o variantă macroscopică denumită electrodinamica Einstein-Minkowski. De aici nu rezultă însă și extensiunea transformatei Lorentz pentru o teorie în care structura punctiformă nu mai este acceptabilă.

Confirmarea coerenței, noncontradicției, independenței și completitudinii ecuațiilor electrodinamicii Einstein-Minkowski este o consecință a principiului relativității restrînse.

3. Analiza calitativă a ecuațiilor Maxwell-Hertz pentru medii în mișcare

Dacă pentru elaborarea electrodinamicii mediilor imobile Maxwell a avut la dispoziție numai cele cinci ecuații globale (1, 2), în schimb Hertz a avut cunoștință de teoria lui Maxwell. În același an al apariției lucrării de electrodinamică a corpurilor în mișcare [3], Hertz a publicat lucrarea *Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper* [16], fiind — la acea vreme — unul dintre puținii susținători pe continent ai opiniilor lui Maxwell.

În vederea extinderii teoriei lui Maxwell pentru medii în mișcare, în teoria lui Hertz se admit următoarele ipoteze [10]:

— nu există vid în sensul spațiului lipsit de substanță ponderabilă, chiar dacă aceasta este atît de rarefiată în anumite regiuni încît mărimile ei de stare locală și instantanee pot fi considerate nule. În conformitate cu acest model al teoriei, speciile de mărimi fizice sînt proprietăți locale cu repartiție continuă în spațiu și evoluție continuă în timp. Oricît de rarefiată este substanța, fiecărui punct din spațiu i se poate asocia un punct material cu o stare de mișcare determinată univoc de viteză și un referențial propriu S_0. În cazul mediilor deformabile acest referențial este diferit de la punct la punct;

— starea electromagnetică locală și instantanee a cîmpului și corpurilor se descrie exclusiv cu ajutorul mărimilor proprii $\mathbf{F}_0(\mathbf{D}_0, \mathbf{E}_0, \mathbf{P}_0, \mathbf{B}_0, \mathbf{H}_0, \mathbf{M}_0, \mathbf{J}_0)$ și ϱ_0, definite în raport cu referențialul propriu S_0;

— sistemul hibrid, constituit din relațiile integrale (3), (4), (21) și locale (6, 7), scrise pentru mărimile proprii $\mathbf{F}_0$ și ϱ_0, dar raportate la referențialul S în raport cu care referențialul propriu S_0 se mișcă cu viteza $\mathbf{v}$, este valabil pentru orice fel de mișcare inerțială sau neinerțială;

— curbele Γ în lungul cărora se calculează tensiunile electromotoare și magnetomotoare, precum și suprafețele Σ și S_Γ prin care se calculează fluxurile electrice și magnetice sînt antrenate de mișcarea mediului.

La sugestia lui Helmholtz, Hertz a reformulat relațiile integrale de evoluție (3, 4) și (20), introducînd *operatorii de derivare totală în raport cu timpul ai integralelor curbilinie, de suprafață și volum*, cum urmează:

$$\frac{d}{dt}\oint_{\Gamma} \mathbf{F}\,d\mathbf{s} = \oint_{\Gamma}\frac{d_c\mathbf{F}}{dt}; \qquad \frac{d_c\mathbf{F}}{dt} = \frac{\partial\mathbf{F}}{\partial t} - \mathbf{v}\times\operatorname{rot}\mathbf{F} + \operatorname{grad}\mathbf{F}.\mathbf{v}; \tag{31}$$

$$\frac{d}{dt}\int_{S_\Gamma}\mathbf{F}\,\mathbf{n}_{S_\Gamma}\,dA = \int_{S_\Gamma}\frac{d_f\mathbf{F}}{dt}\,\mathbf{n}_{S_\Gamma}\,dA; \quad \frac{d_f\mathbf{F}}{dt} = \frac{\partial\mathbf{F}}{\partial t} + \mathbf{v}\operatorname{div}\mathbf{F} + \operatorname{rot}(\mathbf{F}\times\mathbf{v}); \tag{32}$$

$$\frac{d}{dt}\int_{v_\Sigma}\lambda\,dv = \int_{v_\Sigma}\frac{d_v\lambda}{dt}\,dv; \qquad \frac{d_v\lambda}{dt} = \frac{\partial\lambda}{\partial t} + \operatorname{div}\lambda\mathbf{v}, \tag{33}$$

în care:

$$\frac{d_c\mathbf{F}}{dt}; \qquad \frac{d_f\mathbf{F}}{dt}; \qquad \frac{d_v\lambda}{dt},$$

sînt derivatele totale curbilinie, de flux, respectiv de volum, iar $\mathbf{v}$ este viteza. Cu acești operatori, relațiile de evoluție (3,4) și (20) scrise pentru mărimi proprii se transformă astfel:

$$\oint_{\Gamma}\mathbf{E}_0\,d\mathbf{s} = -\int_{S_\Gamma}\frac{d_f\mathbf{B}_0}{dt}\,\mathbf{n}_{S_\Gamma}\,dA; \quad \oint_{\Gamma}\mathbf{H}_0\,d\mathbf{s} = \int_{S_\Gamma}\mathbf{J}_0\,\mathbf{n}_{S_\Gamma}\,dA + \int_{S_\Gamma}\frac{d_f\mathbf{D}_0}{dt}\,\mathbf{n}_{S_\Gamma}\,dA; \tag{34}$$

$$\oint_{\Sigma}\mathbf{J}_0\,\mathbf{n}_\Sigma\,dA = -\int_{v_\Sigma}\frac{d_v\varrho_0}{dt}\,dv. \tag{35}$$

Împărțind cu v_Σ ambii membri ai ecuației (3) și (35) și în mod similar împărțind cu A_Γ ambii membri ai ecuațiilor (34), apoi rescriind ecuațiile de stare (6, 7) pentru mărimi proprii și ținînd seama de (10) și (13), se obține *sistemul compact al ecuațiilor locale Maxwell-Hertz* pentru medii în mișcare, raportate la reperul S,

$$\mathbf{D}_0 = \varepsilon_0\mathbf{E}_0 + \mathbf{P}_0; \quad \mathbf{B}_0 = \mu_0(\mathbf{H}_0 + \mathbf{M}_0); \tag{36}$$

$$\operatorname{div}\mathbf{D}_0 = \varrho_0; \quad \operatorname{div}\mathbf{B}_0 = 0; \quad \operatorname{div}\mathbf{J}_0 = -\frac{d_v\varrho_0}{dt}; \tag{37}$$

$$\operatorname{rot}\mathbf{E}_0 = -\frac{d_f\mathbf{B}_0}{dt}; \qquad \operatorname{rot}\mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0 + \frac{d_f\mathbf{D}_0}{dt}; \tag{38}$$

$$\mathbf{P}_0 = \mathbf{P}_0(\mathbf{E}_0); \quad \mathbf{B}_0 = \mathbf{B}_0(\mathbf{H}_0); \quad \mathbf{J}_0 = \mathbf{J}_0(\mathbf{E}_0). \tag{39}$$

Înlocuind derivatele totale cu expresiile lor din (32) și (33) și ținînd seama de primele două ecuații (37), ecuațiile (38) și ultima ecuație (37) se scriu dezvoltat cum urmează,

$$\operatorname{div} \mathbf{J}_0 = -\frac{\partial \rho_0}{\partial t} - \operatorname{div} \rho_0 \mathbf{v} \quad (40\,a); \qquad \operatorname{rot} \mathbf{E}_0 = -\frac{\partial \mathbf{B}_0}{\partial t} - \operatorname{rot}\,(\mathbf{B}_0 \times \mathbf{v}); \quad (40\,b)$$

$$\operatorname{rot}\ \mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t} + \rho_0 \mathbf{v} + \operatorname{rot}\ (\mathbf{D}_0 \times \mathbf{v}). \quad (41)$$

În ecuația (40 *b*) experiența confirmă termenul inducției prin mișcare rot $(\mathbf{B}_0 \times \mathbf{v})$ pe care se bazează funcționarea convertorilor electromecanici. În ecuația (41) termenul rot $(\mathbf{D}_0 \times \mathbf{v})$ a fost însă infirmat de experiențele lui Röntgen și Eichenwald, termenul corect fiind rot $(\mathbf{P}_0 \times \mathbf{v})$. Nici experiențele lui Wilson și Fizeau nu pot fi explicate de ecuațiile Maxwell-Hertz.

3.1. Structura defectivă a ecuațiilor Maxwell-Hertz. Cu notațiile, $\mathbf{E}_1 = \mathbf{E}_0 - \mathbf{v} \times \mathbf{B}_0$; $\mathbf{H}_1 = \mathbf{H}_0 + \mathbf{v} \times \mathbf{D}_0$; $\mathbf{J}_1 = \mathbf{J}_0 + \rho_0 \mathbf{v}$, (42) ecuațiile (36, 37) și (40, 41) se pot rescrie sub forma în care viteza v nu intervine explicit,

$$\mathbf{D}_0 = \varepsilon_0 \mathbf{E}_0 + \mathbf{P}_0\,;\ \mathbf{B}_0 = \mu_0 (\mathbf{H}_0 + \mathbf{M}_0)\,; \quad (43)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D}_0 = \rho_0\,;\ \operatorname{div}.\ \mathbf{B}_0 = 0\,;\ \operatorname{div} \mathbf{J}_1 = -\frac{\partial \rho_0}{\partial t}\,; \quad (44)$$

$$\operatorname{rot}\ \mathbf{E}_1 = -\frac{\partial \mathbf{B}_0}{\partial t}\,;\ \operatorname{rot}\ \mathbf{H}_1 = \mathbf{J}_1 + \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t} \quad (45)$$

$$\mathbf{P}_0 = \mathbf{P}_0\,(\mathbf{E}_0)\,;\ \mathbf{B}_0 = \mathbf{B}_0\,(\mathbf{H}_0)\,;\ \mathbf{J}_0 = \mathbf{J}_0\,(\mathbf{E}_0). \quad (46)$$

Determinarea, în acord cu TFCV, a vectorilor $\mathbf{E}_1$ și $\mathbf{H}_1$ prin rotorii și divergențele lor nu e posibilă. Dacă rot $\mathbf{E}_1$ (rot $\mathbf{H}_1$) rezultă din prima (a doua) ecuație (45), în schimb div $\mathbf{E}_1$ (div. $\mathbf{H}_1$) nu poate fi determinată din prima (a doua) ecuație (43) în care intervin $\mathbf{D}_0(\mathbf{B}_0)$, $\mathbf{E}_0\,(\mathbf{H}_0)$ și $\mathbf{P}_0\,(\mathbf{M}_0)$ în loc de $\mathbf{D}_1\,(\mathbf{B}_1)$, $\mathbf{E}_1\,(\mathbf{H}_1)$ și $\mathbf{P}_1\,(\mathbf{M}_1)$. Deoarece ecuațiile (43—46) determină numai rot $\mathbf{E}_1$ (rot $\mathbf{H}_1$), dar nu și div. $\mathbf{E}_1$ (div.$\mathbf{H}_1$), ele nu satisfac condiția sistemică de coerență, ci numai una de *cvasicoerență*.

La fel ca în cazul ecuațiilor lui Maxwell, sistemul ecuațiilor (43—46) este necontradictoriu, iar condiția de independență impune eliminarea ultimelor două ecuații (44). Mișcarea nefiind inerțială, cele 22 ecuații scalare conțin pe lîngă 22 mărimi electrice și magnetice necunoscute și trei componente ale vitezei. Sistemul ecuațiilor Maxwell-Hertz (43—46), deși necontradictoriu și independent, este însă cvasicoerent și incomplet ; *structura sistemului este defectivă*. Incompletitudinea este însă mult mai importantă deoarece implică dificultăți privind existența, unicitatea și stabilitatea soluției. Se pune întrebarea, de ce totuși și în aceste condiții ecuațiile Maxwell-Hertz continuă să fie aplicate în tehnică? Majoritatea aplicațiilor se referă la regimuri particulare de cîmp electromagnetic, cum este cel cvasistaționar, în care se neglijează curentul de deplasare în conductoare și odată cu el și inducția electrică $\mathbf{D}_0$. Ca urmare sistemul este nu numai complet, dar asigură și unicitatea soluției.

4. Extensiunea relativistă a ecuațiilor Maxwell-Hertz

Modificarea ecuațiilor de evoluție (44, 45), în care primii membri se referă la $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{H}_1$ și $\mathbf{J}_1$ (42), se datorează exclusiv derivatelor totale ale inducțiilor $\mathbf{D}_0$, $\mathbf{B}_0$ și lui ρ_0. Atît ecuațiile de evoluție sub formă integrală (4) și (21), cît și cele ale lui Maxwell pentru medii imobile sub formă locală (16) și (20) prezintă particularitatea că derivatele în raport cu timpul se aplică exclusiv fluxurilor, respectiv inducțiilor, dar nu și tensiunilor, respectiv rotoarelor intensităților de cîmp. În consecință, cvasicoerența și incompletitudinea ecuațiilor Maxwell-Hertz (43—46) poate fi eliminată corectînd membrii doi ai ecuațiilor de evoluție (37, 38) prin înlocuirea derivatelor totale ale lui $\mathbf{D}_0$, $\mathbf{B}_0$ și ρ_0 cu cele ale lui $\mathbf{D}_1$, $\mathbf{B}_1$ și ρ_1, astfel încît acestea din urmă să corespundă mărimilor $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{H}_1$ și $\mathbf{J}_1$ care intervin în primii termeni ai ecuațiilor (44, 45). O astfel de corecție confirmă caracterul aproximativ al ecuațiilor Maxwell-Hertz și ca urmare pot fi considerate ca un *sistem iterativ de ordinul unu*, corecția propusă constituind o formulare îmbunătățită din punctul de vedere al cvasicoerenței și incompletitudinii.

4.1. Sistemul iterativ al ecuațiilor de ordinul n. Vectorii $\mathbf{E}_1$ și $\mathbf{H}_1$ fiind univoc determinați de relațiile (42), ecuațiile constitutive (43) se pot reformula pentru $\mathbf{D}_1$ și $\mathbf{B}_1$ după ce în prealabil se recalculează ecuațiile de stare ale polarizațiilor (46) în funcție de $\mathbf{E}_1$ și $\mathbf{H}_1$. În consecință, într-o *a doua aproximație (iterație)* se determină primele două ecuații (39) în funcție de $\mathbf{E}_1$ și $\mathbf{H}_1$ și cu expresiile obținute pentru $\mathbf{P}_1$ și $\mathbf{M}_1$ se deduc noile ecuații constitutive (36) pentru $\mathbf{D}_1$ și $\mathbf{B}_1$. Înlocuind în ecuațiile (37, 38) $\mathbf{D}_0$, $\mathbf{B}_0$ cu $\mathbf{D}_1$, $\mathbf{B}_1$ și fiindcă,

$$\frac{\partial \rho_0}{\partial t} = \operatorname{div} \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t},$$

implică și înlocuirea lui ρ_0 cu ρ_1 se obține *sistemul iterativ al ecuațiilor de ordinul doi*, exprimat compact cum urmează

$$\mathbf{D}_1 = \varepsilon_0 \mathbf{E}_1 + \mathbf{P}_1\,;\ \mathbf{B}_1 = \mu_0\,(\mathbf{H}_1 + \mathbf{M}_1)\,; \quad (47)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D}_1 = \rho_1\,;\ \operatorname{div}\ \mathbf{B}_1 = 0\,;\ \operatorname{div} \mathbf{J}_0 = -\frac{\mathrm{d}_v \rho_1}{dt}\,; \quad (48)$$

$$\operatorname{rot}\ \mathbf{E}_0 = -\frac{d_f \mathbf{B}_1}{dt}\,; \qquad \operatorname{rot}\ \mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0 + \frac{d_f \mathbf{D}_1}{dt}\,; \quad (49)$$

$$\mathbf{P}_1 = \mathbf{P}_1\,(\mathbf{E}_1)\,;\ \mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_1\,(\mathbf{H}_1)\,;\ \mathbf{J}_1 = \mathbf{J}_1\,(\mathbf{E}_1). \quad (50)$$

Înlocuind derivatele totale cu expresiile care rezultă din (32, 33), ecuațiile de evoluție (48, 49) se transformă astfel,

$$\operatorname{div} \mathbf{J}_2 = -\frac{\partial \rho_1}{\partial t}\,; \qquad \operatorname{rot} \mathbf{E}_2 = -\frac{\partial \mathbf{B}_1}{\partial t}\,; \qquad \operatorname{rot} \mathbf{H}_2 = \mathbf{J}_2 + \frac{\partial \mathbf{D}_1}{\partial t}\,, \tag{51}$$

în care s-a notat :

$$\mathbf{E}_2 = \mathbf{E}_0 - \mathbf{v} \times \mathbf{B}_1\,; \mathbf{H}_2 = \mathbf{H}_0 + \mathbf{v} + \times \mathbf{D}_1\,; \mathbf{J}_2 = \mathbf{J}_0 + \rho_1 \mathbf{v}. \tag{52}$$

Examinarea coerenței ecuațiilor (47, 48) și (50, 51) evidențiază același caracter defectiv ; vectorul $\mathbf{E}_2(\mathbf{H}_2)$ nu poate fi determinat numai de rot $\mathbf{E}_2$ (rot $\mathbf{H}_2$), în absența lui div $\mathbf{E}_2$ (div $\mathbf{H}_2$).

În încercarea de a corecta cvasicoerența și incompletitudinea cu iterații de ordin superior, se ajunge la *sistemul iterativ al ecuațiilor de ordinul n*,

$$\mathbf{D}_{n-1} = \varepsilon_0 \quad \mathbf{E}_{n-1} + \mathbf{P}_{n-1}\,; \quad \mathbf{B}_{n-1} = \mu_0 (\mathbf{H}_{n-1} + \mathbf{M}_{n-1})\,; \tag{53}$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D}_{n-1} = \rho_{n-1}\,; \quad \operatorname{div} \mathbf{B}_{n-1} = 0\,; \quad \operatorname{div} \mathbf{J}_n = -\frac{\partial \rho_{n-1}}{\partial t}\,; \tag{54}$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E}_n = -\frac{\partial \mathbf{B}_{n-1}}{\partial t}\,; \qquad \operatorname{rot} \mathbf{H}_n = \mathbf{J}_n + \frac{\partial \mathbf{D}_{n-1}}{\partial t}\,; \tag{55}$$

$$\mathbf{P}_{n-1} = \mathbf{P}_{n-1}(\mathbf{E}_{n-1})\,; \quad \mathbf{M}_{n-1} = \mathbf{M}_{n-1}(\mathbf{H}_{n-1})\,; \quad \mathbf{J}_{n-1} = \mathbf{J}_{n-1}(\mathbf{E}_{n-1}) \tag{56}$$

în care s-a notat,

$$\mathbf{E}_n = \mathbf{E}_0 - \mathbf{v} \times \mathbf{B}_{n-1}\,; \quad \mathbf{H}_n = \mathbf{H}_0 + \mathbf{v} \times \mathbf{D}_{n-1}\,; \quad \mathbf{J}_n = \mathbf{J}_0 + \rho_{n-1} \mathbf{v}. \tag{57}$$

Analiza sistemică a ecuațiilor (53—56) arată că pentru orice n sistemul de ecuații, deși **necontra**dictoriu și independent, este însă cvasicoerent și incomplet (după eliminarea celei de a doua ecuații (54) și a **ultimei ecua**ții (55)).

Șirul infinit al sistemelor iterative de ecuații (53—56) este un șir recurent, elaborat inductiv prin modificarea ecuațiilor constitutive (53) la fiecare iterație de ordin superior. După Poincaré [17] demonstrația prin recurență a unui proces iterativ presupune următoarele : *„Se stabilește mai întîi o teoremă pentru n = 1 ; se arată apoi că dacă ea este adevărată și pentru n — 1 este adevărată și pentru n și se conchide de aici că este adevărată pentru toate numerele întregi"*. În cazul sistemului iterativ (53—56), demonstrația teoremei pentru $n = 1$ este evidentă, iterația de ordinul unu fiind chiar sistemul ecuațiilor Maxwell-Hertz (43—46). Demonstrația pentru $n-1$ necesită însă stabilirea relațiilor de recurență pentru fiecare iterație de ordinul $n-1$ al șirului de opt vectori $\mathbf{F}_{n-1}$ ($\mathbf{D}_{n-1}$, $\mathbf{E}_{n-1}$, $\mathbf{P}_{n-1}$, $\mathbf{B}_{n-1}$, $\mathbf{H}_{n-1}$, $\mathbf{M}_{n-1}$, $\mathbf{J}_{n-1}$, $\mathbf{A}_{n-1}$) și doi scalari Λ_{n-1} (ρ_{n-1}, V_{n-1}).

4.2. Relațiile de recurență ale mărimilor $\mathbf{F}_n$ *și* Λ_n. Formularea sistemului iterativ (53—56) determină totodată relațiile de recurență ale vectorilor $\mathbf{E}_n$, $\mathbf{H}_n$ și $\mathbf{J}_n$ (57). Înlocuind expresiile lui $\mathbf{E}_n$ și $\mathbf{H}_n$ din (57) în (53) se deduc relațiile de recurență ale vectorilor $\mathbf{D}_n$, $\mathbf{P}_n$, $\mathbf{B}_n$ și $\mathbf{M}_n$,

$$\mathbf{D}_n = \mathbf{D}_0 - \frac{1}{c^2} \mathbf{v} \times \mathbf{H}_{n-1}\,; \quad \mathbf{B}_n = \mathbf{B}_0 + \frac{1}{c_2} \mathbf{v} \times \mathbf{E}_{n-1}\,; \tag{58}$$

$$\mathbf{P}_n = \mathbf{P}_0 + \frac{1}{c^2} \mathbf{v} \times \mathbf{M}_{n-1}\,; \quad \mathbf{M}_n = \mathbf{M}_0 - \mathbf{v} \times \mathbf{P}_{n-1}. \tag{59}$$

Din identitatea [10], [12]

$$\int_{s_\Gamma} \frac{d_f \mathbf{B}_n}{dt}\, \mathbf{n}_{s_\Gamma}\, dA = \oint \frac{d_c \mathbf{A}_n}{dt}\, \mathbf{ds}, \tag{60}$$

și din relația de dependență dintre condiția de etalonare Lorentz și ecuația de conservare a sarcinii electrice [10], [20]

$$\operatorname{div} \mathbf{A}_n + \frac{1}{c^2} \frac{\partial V_{n-1}}{\partial t} = 0 \rightarrow \operatorname{div} \mathbf{J}_n + \frac{\partial \rho_{n-1}}{\partial t} = 0, \tag{61}$$

rezultă relațiile de recurență pentru ρ_n, $\mathbf{A}_n$, și V_n,

$$\rho_n = \rho_0 + \frac{1}{c^2} \mathbf{J}_{n-1} \cdot \mathbf{v}\,; \quad \mathbf{A}_n = \mathbf{A}_0 + \frac{1}{c^2} V_{n-1}\, \mathbf{v}\,; \quad V_n = V_0 + \mathbf{A}_{n-1} \cdot \mathbf{v}. \tag{62}$$

Odată cu determinarea celor zece relații de recurență pentru cele zece mărimi vectoriale $\mathbf{F}_n$ și scalare Λ_n, s-a demonstrat teorema procesului inductiv pentru orice n. Aceste relații pot fi grupate pe perechi, la fel ca în teoria lui Einstein (25 *a*, 26 *a*) :

— *perechile de vectori* ($\mathbf{E}_n$, $\mathbf{B}_n$), ($\mathbf{H}_n$, $\mathbf{D}_n$), ($\mathbf{M}_n$, $\mathbf{P}_n$), de forma ($\mathbf{F}_n$, $\mathbf{G}_n$) ; (63)

— *perechile vector-sclalar* ($\mathbf{J}_n$, ρ_n), ($\mathbf{A}_n$, V_n) de forma, ($\mathbf{K}_n$, Λ_n). (64)

Relațiile de recurență ale perechilor ($\mathbf{F}_n$, $\mathbf{G}_n$) și ($\mathbf{K}_n$, Λ_n) au expresiile,

$$\mathbf{F}_n = \mathbf{F}_0 - a\mathbf{v} \times \mathbf{G}_{n-1}\,; \quad \mathbf{G}_n = \mathbf{G}_0 + \frac{a}{c^2} \mathbf{v} \times \mathbf{F}_{n-1}\,; \quad a = \begin{cases} 1\,; (\mathbf{E}, \mathbf{B})\,(\mathbf{M}, \mathbf{P})\,; \\ -1\,; (\mathbf{H}, \mathbf{D}) \end{cases} \tag{65}$$

$$\mathbf{K}_n = \mathbf{K}_0 + \frac{a}{c^2} \Lambda_{n-1}\, \mathbf{v}\,; \Lambda_n = \Lambda_0 + \frac{a}{c^2} \mathbf{v} \cdot \mathbf{K}_{n-1}\,; a = \begin{cases} \{c^2\,; (\mathbf{J}, \rho)\,; \\ 1\,; (\mathbf{A}, v), \end{cases} \tag{66}$$

și satisfac relații de conservare similare cu (29, 30),

$$\mathbf{F}_n \cdot \mathbf{v} = \mathbf{F}_0 \cdot \mathbf{v}\,;\quad \mathbf{G}_n \cdot \mathbf{v} = \mathbf{G}_0 \cdot \mathbf{v}\,;\quad \mathbf{K}_n \times \mathbf{v} = \mathbf{K}_0 \times \mathbf{v}. \tag{66}$$

4.3. Relațiile de transformare ale mărimilor electrice și magnetice. Cu relațiile de recurență (65) și (66) se determină expresiile iterațiilor de ordinul n ale mărimilor $\mathbf{F}_n$, $\mathbf{G}_n$, $\mathbf{K}_n$ și Λ_n în funcție de iterațiile de ordinul zero (mărimile proprii) $\mathbf{F}_0$, $\mathbf{G}_0$, $\mathbf{K}_0$, Λ_0 și viteza $\mathbf{v}$:

$\mathbf{F}_n = \mathbf{F}_n(\mathbf{F}_0, \mathbf{G}_0, \mathbf{v})$; $\mathbf{G}_n = \mathbf{G}_n(\mathbf{G}_0, \mathbf{F}_0, \mathbf{v})$; $\mathbf{K}_n = \mathbf{K}_n(\mathbf{K}_0, \Lambda_0, \mathbf{v})$; $\Lambda_n = \Lambda_n(\Lambda_0, \mathbf{K}_0, \mathbf{v})$.

Calculul se efectuează pas cu pas, sau aplicînd teoria șirurilor recurente a lui Marcusevici [10]. În metoda pas cu pas, se disting două cazuri după cum ordinul iterației este par sau impar și anume:

Perechea $(\mathbf{F}_n, \mathbf{G}_n)$,

Iterația de ordin par:

$$\mathbf{F}_{2n} = \gamma_H^{(n)}\mathbf{F}_0 - \gamma_H^{(n-1)}\left[a\mathbf{v} \times \mathbf{G}_0 + \frac{1}{c^2}\,\mathbf{v}(\mathbf{F}_0, \mathbf{v})\right]; \tag{67}$$

$$\mathbf{G}_{2n} = \gamma_H^{(n)}\,\mathbf{G}_0 + \gamma_H^{(n-1)}\left[a\mathbf{v} \times \mathbf{F}_0 + \mathbf{v}(\mathbf{G}_0 \cdot \mathbf{v})\right]; \tag{68}$$

Iterația de ordin impar:

$$\mathbf{F}_{2n-1} = \gamma_H^{(n-1)}(\mathbf{F}_0 - a\mathbf{v} \times \mathbf{G}_0) - \frac{1}{c^2}\,\gamma_H^{(n-)}\,\mathbf{v}(\mathbf{F}_0 \cdot \mathbf{v}); \tag{69}$$

$$\mathbf{G}_{2n-1} = \gamma_H^{(n-1)}\left(\mathbf{G}_0 + \frac{a}{c^2}\,\mathbf{v} \times \mathbf{F}_0\right) - \frac{1}{c^2}\,\gamma_H^{(n-2)}\,\mathbf{v}\,(\mathbf{G}_0, \mathbf{v}); \tag{70}$$

Perechea $(\mathbf{K}_n, \Lambda_n)$,

Iterația de ordin par:

$$\mathbf{K}_{2n} = \mathbf{K}_0 + \gamma_H^{(n-1)}\,\frac{\mathbf{v}}{c^2}\,[a\,\Lambda_0 + \mathbf{v}(\mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{v})]; \tag{71}$$

$$\Lambda_{2n} = \gamma_H^{(n)}\,\Lambda_0 + \frac{a}{c^2}\,\gamma_H^{(n-1)}\,(\mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{v}; \tag{72}$$

Iterația de ordin impar:

$$\mathbf{K}_{2n-1} = \mathbf{K}_0 + \gamma_H^{(n-1)}\,\frac{a}{c^2}\,\mathbf{v}\,\Lambda_0 + \frac{1}{c^2}\,\gamma_H^{(a-2)}\,\mathbf{v}(\mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{v}); \tag{73}$$

$$\Lambda_{2n-1} = \gamma_H^{(n-1)}\left(\Lambda_0 + \frac{a}{c^2}\,\mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{v}\right), \tag{74}$$

în care,

$$\gamma_H^{(k)} = 1 + \frac{p^2}{c^2} + \frac{p^4}{c^4} + \ldots + \frac{p^{2k}}{c^{2k}}. \tag{75}$$

În acest fel raționamentul recurent al procesului iterativ inductiv a lui Poincaré este demonstrat pentru orice n.

4.4. Sistemul limită al ecuațiilor electrodinamicii hertziene la viteze relativiste

Poincaré [19] atrage atenția asupra raționamentului recurent a cărui demonstrație pentru orice n este necesară, dar nu și suficientă. În cazul sistemului iterativ al ecuațiilor de ordinul n (53—56), condiția de suficientă a lui Poincaré nu este îndeplinită deoarece sistemul este cvasicoerent și incomplet. Dacă și numai dacă la limită pentru $n \to \infty$ șirurile $\mathbf{F}_n$, $\mathbf{G}_n$, $\mathbf{K}_n$ și Λ_n tind către valori finite și nenule,

$$\lim_{n\to\infty}(\mathbf{F}_n, \mathbf{G}_n, \mathbf{K}_n, \Lambda_n) = (\mathbf{F}, \mathbf{G}, \mathbf{K}, \Lambda), \tag{76}$$

atunci și numai atunci sistemul iterativ (53—56) are la limită pentru $n \to \infty$ o formă identică cu a sistemului ecuațiilor lui Maxwell (15, 16), (18—20), adică,

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0\mathbf{E} + \mathbf{P}; \quad \mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}); \tag{77}$$

$$\operatorname{div}\mathbf{D} = \rho; \quad \operatorname{div}\mathbf{B} = 0; \quad \operatorname{div}\mathbf{J} = -\frac{\partial\rho}{\partial t}; \tag{78}$$

$$\mathrm{r\,t}\,\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}; \quad \operatorname{rot}\mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}; \tag{79}$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}(\mathbf{E}); \quad \mathbf{M} = \mathbf{M}(\mathbf{H}); \quad \mathbf{J} = \mathbf{J}(\mathbf{E}), \tag{80}$$

a cărui coerență, noncontradicție, independență și completitudine este evidentă.

Întrucît oricare dintre iterațiile de ordin par sau impar ale mărimilor $\mathbf{F}_n$, $\mathbf{G}_n$, $\mathbf{K}_n$, Λ_n (67—74) depind de factorul $\gamma_H^{(k)}$(75), rezultă că limita finită și nenulă pentru $n \to \infty$ este condiționată de convergența seriei,

$$\lim_{k\to\infty}\gamma_H^{(k)} = 1 + \frac{p^2}{c^2} + \frac{p^4}{c^4} + \ldots \tag{81}$$

Tabelul 3

Ecuațiile și relațiile de transformare a mărimilor electrice și magnetice în electrodinamica hertziană

Referențialul S (în repaus relativ)	Referențialul S_0 (în mișcare cu viteza v)
Ecuațiile electrodinamicii în S	Ecuațiile electrodinamicii în S_0
$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$; $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$;	$\mathbf{D}_0 = \varepsilon_0 \mathbf{E}_0 + \mathbf{P}_0$; $\mathbf{B}_0 = \mu_0 (\mathbf{H}_0 + \mathbf{M}_0)$;
$\operatorname{div} \mathbf{D} = \varrho$; $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$; $\operatorname{div} \mathbf{J} = -\frac{\partial \varrho}{\partial t}$;	$\operatorname{div} \mathbf{D}_0 = \varrho_0$; $\operatorname{div} \mathbf{B}_0 = 0$; $\operatorname{div}_0 \mathbf{J}_0 = -\frac{\partial \varrho_0}{\partial t_0}$;
$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$; $\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$;	$\operatorname{rot}_0 \mathbf{E}_0 = -\frac{\partial \mathbf{B}_0}{\partial t_0}$; $\operatorname{rot} \mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t_0}$;
$\mathbf{P} = \mathbf{P}(\mathbf{E})$; $\mathbf{M} = \mathbf{M}(\mathbf{H})$; $\mathbf{J} = \mathbf{J}(\mathbf{E})$.	$\mathbf{P} = \mathbf{P}_0(\mathbf{E}_0)$; $\mathbf{M}_0 = \mathbf{M}_0(\mathbf{H}_0)$; $\mathbf{J}_0 = \mathbf{J}_0(\mathbf{E}_0)$.

Relațiile de transformare $S_0 \rightarrow S$

$$\mathbf{E} = \gamma_H(\mathbf{E}_0 - \mathbf{v} \times \mathbf{B}_0) - \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{E}_0 \cdot \mathbf{v}) ; \quad \mathbf{B} = \gamma_H\left(\mathbf{B}_0 + \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{E}_0\right) - \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{B}_0 \cdot \mathbf{v}) ;$$

$$\mathbf{H} = \gamma_H(\mathbf{H}_0 + \mathbf{v} + \mathbf{D}_0) - \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{H}_0 \cdot \mathbf{v}) ; \quad \mathbf{D} = \gamma_H\left(\mathbf{D}_0 - \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{H}_0\right) - \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{v}) ;$$

$$\mathbf{M} = \gamma_H(\mathbf{M}_0 - \mathrm{v} \times \mathbf{P}_0) - \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{M}_0 \cdot \mathbf{v}) ; \quad \mathbf{P} = \gamma_H\left(\mathbf{P}_0 + \frac{1}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{M}_0\right) - \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{P}_0 \cdot \mathbf{v}) ;$$

$$\mathbf{J} = \mathbf{J}_0 + \gamma_H \varrho_0 \mathbf{v} + \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{J}_0 \cdot \mathbf{v}) ; \quad \varrho = \gamma_H\left(\varrho_0 + \frac{1}{c^2}\mathbf{J}_0 \cdot \mathbf{v}\right) ;$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_0 + \gamma_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}\mathbf{v}_0 + \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{A}_0 \cdot \mathbf{v}) ; \quad \mathrm{v} = \gamma_H(\mathrm{v}_0 + \mathbf{A}_0 \cdot \mathbf{v}) ;$$

$$\gamma_H = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} ; \quad \varkappa_H = \gamma_H - 1$$

Dacă și numai dacă este îndeplinită condiția,

$$\frac{v^2}{c^2} < 1, \tag{82}$$

seria (81) este convergentă și egală cu,

$$\gamma_H = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \tag{83}$$

Înlocuind valoarea lui γ_H în (67—70), se deduc următoarele valori limită ale lui **F**, **G**, **K**, Λ,

$$\mathbf{F} = \gamma_H(\mathbf{F}_0 - a\mathrm{v} \times \mathbf{G}_0) - \frac{\varkappa_H}{v^2}\mathrm{v}(\mathbf{F}_0 \cdot \mathrm{v}) ; \quad \mathbf{G} = \gamma_H\left(\mathbf{G}_0 + \frac{a}{c^2}\mathbf{v} \times \mathbf{F}_0\right) - \frac{\varkappa_H}{v^2}\mathrm{v}(\mathbf{G}_0 \cdot \mathbf{v}) ; \tag{84}$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_0 + \frac{a}{c^2}\gamma_H \mathbf{v}\Lambda_0 + \frac{\varkappa_H}{v^2}\mathbf{v}(\mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{v}) ; \quad \Lambda = \gamma_H\left(\Lambda_0 + \frac{a}{c^2}\mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{v}\right), \tag{85}$$

în care γ_H se numește *factorul relativist al lui Hertz*, egal cu pătratul factorului relativist al lui Lorentz

$$\gamma_H = \gamma_L^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \tag{86}$$

și s-a notat,

$$\varkappa_H = \gamma_H - 1. \tag{87}$$

Cu relațiile (84, 85) se determină în tabelul 3 formulele de transformare ale mărimilor **E**, **B**, **H**, **D**, **M**, **P**, **J**, ϱ, **A** și V în referențialul S în funcție de mărimile proprii $\mathbf{E}_0$, $\mathbf{B}_0$, $\mathbf{H}_0$, $\mathbf{D}_0$, $\mathbf{M}_0$, $\mathbf{P}_0$, $\mathbf{J}_0$, ϱ_0, $\mathbf{A}_0$ și V_0, din referențialul S_0 și de viteza v.

Problema extensiunii la viteze relativiste a teoriei nerelativiste Maxwell—Hertz este rezolvată—coerența, noncontradicția, independența și completitudinea — condiții îndeplinite atît de teoria lui Maxwell pentru medii imobile, cît și de cea a lui Einstein, fiind satisfăcute de noua teorie. În schema din figura 4 sînt reprezentate etapele analizei sistemice a teoriilor cîmpului electromagnetic, care au permis elaborarea electrodinamicii hertziene a corpurilor în mișcare la viteze relativiste.

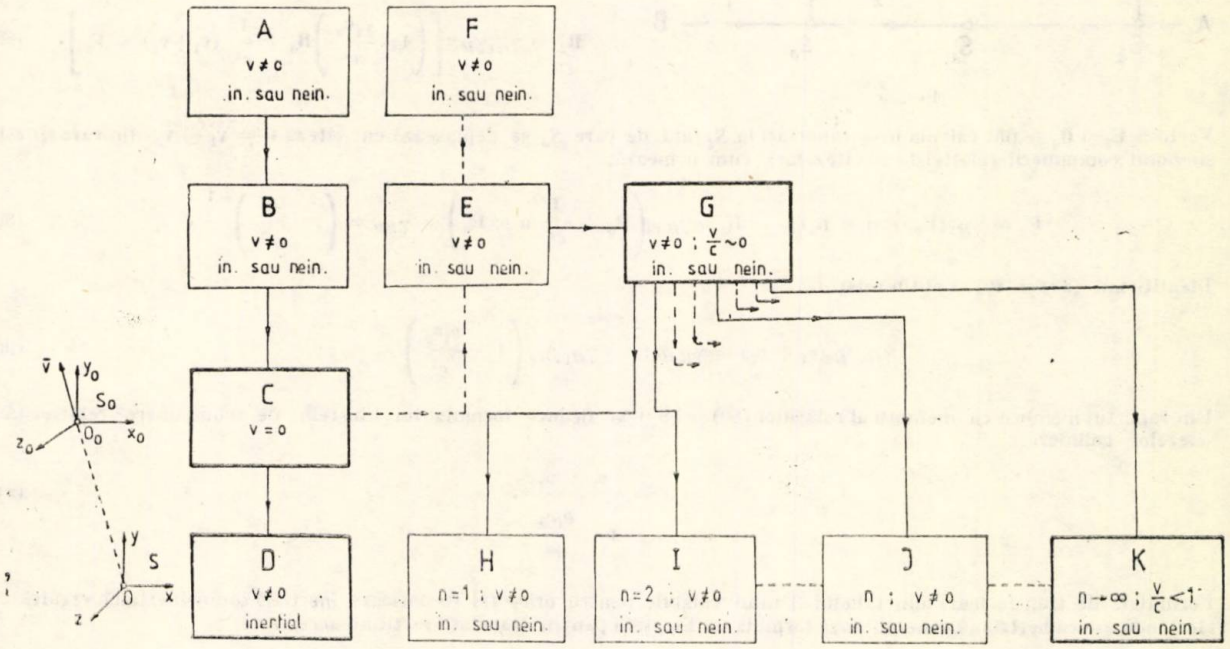


Fig. 4. A — sistemul relațiilor globale; B — sistemul relațiilor integrale; C — sistemul ecuațiilor lui Maxwell; D — sistemul ecuațiilor Einstein-Minkowski; E — sistemul necontradictoriu al relațiilor integrale; F — sistemul necontradictoriu al relațiilor globale; G — sistemul compact al ecuațiilor Maxwell-Hertz; H — sistemul iterativ de ordinul unu; I — sistemul iterativ de ordinul 2; J — sistemul iterativ de ordinul n; K — sistemul limită al electrodinamicii hertziene relativiste.

4.5. Confirmări experimentale.

Cu relațiile de transformare din tabelul 3 și în ipoteza $v^2/c^2 \sim 0$, sistemul iterativ al ecuațiilor de ordinul doi (47—50) are forma [10],

$$\mathbf{D}_0 = \varepsilon_0 \mathbf{E}_0 + \mathbf{P}_0 ; \mathbf{B}_0 = \mu_0 (\mathbf{H}_0 + \mathbf{M}_0) ;$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D}_0 = \rho_0 + \frac{1}{c^2} (\mathbf{J}_0 \cdot \mathbf{v}) + \frac{1}{c^2} \operatorname{div} (\mathbf{v} \times \mathbf{H}_0) ;$$

$$\operatorname{div}. \mathbf{B}_0 = - \frac{1}{c^2} \operatorname{div}(\mathbf{v} \times \mathbf{E}_0) ;$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E}_0 = - \frac{\partial \mathbf{B}_0}{\partial t} + \operatorname{rot}(\mathbf{v} \times \mathbf{B}_0) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\mathbf{v} \times \mathbf{E}_0) ;$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H}_0 = \mathbf{J}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}_0}{\partial t} + \rho_0 \mathbf{v} + \operatorname{rot}(\mathbf{D}_0 \times \mathbf{v}) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\mathbf{v} \times \mathbf{H}_0),$$

fiind identic cu cel al teoriei Einstein-Minkowski în aceeași aproximație $v^2/c^2 \sim 0$. Ca urmare, toate experiențele de electrodinamică și optică a corpurilor în mișcare (Wilson, Eichenwald, Fizeau etc.) se interpretează în același mod în teoria Hertziană.

4.6. Generalizarea formulei lui Einstein de compunere a vitezelor coliniare

Se consideră unda electromagnetică plană cu direcția de propagare AB (fig. 5) și fie $\mathbf{E}_0$, $\mathbf{B}_0$ vectorii raportați la reperul S_0 care se deplasează cu viteza $\mathbf{v}_1$ în lungul lui AB, în raport cu reperul S_1. Ținînd seama de transversalitatea undei ($\mathbf{E}_0 \cdot \mathbf{v} = 0$, $\mathbf{B}_0 \cdot \mathbf{v} = 0$), vectorii $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{B}_1$ raportați la S_1 se calculează cu formulele de transformare din tabelul 3 și rezultă,

$$\mathbf{E}_1 = \gamma_{H1} (\mathbf{E}_0 - \mathbf{v}_1 \times \mathbf{B}_0) ; \qquad \mathbf{B}_1 = \gamma_{H1} \left(\mathbf{B}_0 + \frac{1}{c^2} \mathbf{v}_1 \times \mathbf{E}_0 \right) ; \qquad \gamma_{H1} = \left(1 - \frac{v_1^2}{c^2} \right)^{-1} .$$

Dacă și S_1 se deplasează cu viteza $\mathbf{v}_2$, paralelă cu $\mathbf{v}_1$, în raport cu reperul S_2, vectorii $\mathbf{E}_2$, $\mathbf{B}_2$ calculați în raport cu S_2 au expresiile

$$\mathbf{E}_2 = \gamma_{H2} (\mathbf{E}_1 - \mathbf{v}_2 \times \mathbf{B}_1) ; \qquad \mathbf{B}_2 = \gamma_{H2} \left(\mathbf{B}_1 + \frac{1}{c^2} \mathbf{v}_2 \times \mathbf{E}_1 \right) ; \qquad \gamma_{H2} = \left(1 - \frac{v_2^2}{c^2} \right)^{-1} ,$$

respectiv,

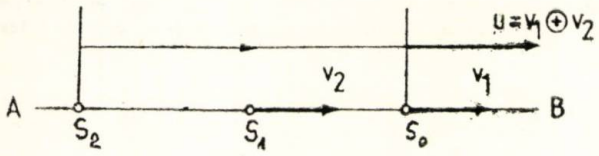


Fig. 5

$$\mathbf{E}_2 = \gamma_{H1}\gamma_{H2}\left[\left(1+\frac{\mathbf{v}_1\mathbf{v}_2}{c^2}\right)\mathbf{E}_0 - (\mathbf{v}_1+\mathbf{v}_2)\times\mathbf{B}_0\right];$$

$$\mathbf{B}_2 = \gamma_{H1}\gamma_{H2}\left[\left(1+\frac{\mathbf{v}_1\mathbf{v}_2}{c^2}\right)\mathbf{B}_0 + \frac{1}{c^2}(\mathbf{v}_1+\mathbf{v}_2)\times\mathbf{E}_0\right]. \quad (88)$$

Vectorii $\mathbf{E}_2$ și $\mathbf{B}_2$ se pot calcula însă raportați la S_2 față de care S_0 se deplasează cu viteza $\mathbf{u} = \mathbf{v}_1 \oplus \mathbf{v}_2$ (în care $\oplus$ este simbolul compunerii relativiste a vitezelor), cum urmează,

$$\mathbf{E}_2 = \gamma_{Hu}(\mathbf{E}_0 - \mathbf{u}\times\mathbf{B}_0); \qquad \mathbf{B}_2 = \gamma_{Hu}\left(\mathbf{B}_0 + \frac{1}{c^2}\mathbf{u}\times\mathbf{E}_0\right); \quad \gamma_{Hu} = \left(1+\frac{u^2}{c^2}\right)^{-1}. \quad (89)$$

Identificînd (88) și (89) se obțin relațiile,

$$\gamma_{H1}\gamma_{H2}(v_1+v_2) = \gamma_{Hu}u; \qquad \gamma_{H1}\gamma_{H2}\left(1+\frac{v_1v_2}{c^2}\right) = \gamma_{Hu}; \quad (90)$$

Din raportul membru cu membru al relațiilor (89) și (90) se deduce formula lui Einstein de compunere relativistă vitezelor coliniare,

$$u = \frac{v_1+v_2}{1+\dfrac{v_1v_2}{c^2}}. \quad (91)$$

Formulele de transformare din tabelul 3 fiind valabile pentru orice fel de mișcare, inerțială sau neinerțială, rezultă că electrodinamica hertziană generalizează formula lui Einstein pentru translații rectilinii accelerate.

Comentarii și concluzii

Elaborarea, în această lucrare, a unei alternative la electrodinamica Einstein-Minkowski, impune examinarea asemănărilor și deosebirilor dintre cele două teorii. În primul rînd, analiza sistemică a confirmat coerența, noncontradicția, independența și completitudinea ecuațiilor celor două teorii. În al doilea rînd, dacă se compară ecuațiile și formulele de transformare ale mărimilor în cele două teorii (vezi tabelele 1 și 3) se constată o surprinzătoare similitudine a formei lor, cu singura deosebire că în cea de a doua teorie, în locul constantei relativiste a lui Lorentz γ intervine constanta relativistă a lui Hertz γ, egală cu patratul lui γ. Nu numai relațiile de recurență, dar și formulele iterative (67—74), inclusiv cele limită (84—85), satisfac ecuații de conservare identice cu cele ale teoriei Einstein-Minkowski. Acestor asemănări formale le corespund însă deosebiri fundamentale, printre care cele mai importante sînt următoarele :

— ecuațiile electrodinamicii Einstein-Minkowski au fost stabilite pe cale cinematică, cu relații de transformare a coordonatelor spațio-temporale, aplicabilitatea lor fiind limitată exclusiv pentru mișcări inerțiale ; ecuațiile teoriei hertziene nu necesită relații de transformare a coordonatelor și nici conceptul de referențial inerțial ; ele au fost determinate printr-un procedeu iterativ, fundamentat prin recurență inductivă, care permite aplicarea repetitivă a derivatelor totale ale lui Helmholtz în formulare intrinsecă, a căror valabilitate nu este limitată de natura mișcării, care poate fi oarecare, inerțială sau neinerțială ;

— în teoria relativității restrînse se postulează principiile covarianței și invarianței vitezei luminii în vid, pe baza cărora se deduc transformata Lorentz și relațiile de transformare a mărimilor electrice și magnetice. În acest fel, electrodinamica Einstein-Minkowski este condiționată de elaborarea prealabilă a cinematicii relativiste. Electrodinamica hertziană nu necesită postulate, iar dacă concordă cu cele două principii, acest acord se datorează convergenței procesului iterativ care la rîndul ei este condiționată de satisfacerea inegalității (82). Relația

$$\frac{v}{c} < 1, \quad (92)$$

nu este echivalentă cu principiul invarianței vitezei luminii în vid, care postulează imposibilitatea depășirii vitezei luminii în vid, dar nu contestă explicit posibilitatea $v = c$. În teoria relativității, acordul acestui principiu cu formula compunerii relativiste a vitezelor (91) se testează luînd $v_1 = \pm c$, sau $v_2 = \pm c$, rezultînd $u = \pm c$. În teoria lui Hertz, viteza unei particule nu poate fi nici mai mare și nici egală cu c, în ambele cazuri seria (81) fiind divergentă. În consecință teoria hertziană interzice o testare similară a formulei (91) ;

— teoria lui Einstein fiind axiomatică are un caracter deductiv, în contrast cu teoria hertziană elaborată prin recurență inductivă, despre care Poincaré scrie [17] : *Fără îndoială, raționamentul matematic recurent și raționamentul fizic inductiv se bazează pe fundamente diferite, dar mersul lor este paralel — ele merg în același sens, adică de la particular la general. ... Nu ne putem ridica decît prin inducția matematică, singura care poate să ne învețe ceva nou. Fără ajutorul acesti inducții, diferită în anumite privințe de inducția fizică, dar fecundă ca și ea, construcția ar fi neputincioasă să creeze știința.* Superioritatea raționamentului inductiv în elaborarea unei teorii fizice este incontestabilă dacă se ia în considerare deosebirea dintre statutul postulatului teoriilor formulate axiomatic (de exemplu, cele logico-matematice) în raport cu cel al postulatului unei teorii fizice, susceptibil de o insecuritate logică [18,22] ;

— în vederea elaborării electrodinamicii corpurilor în mișcare, Einstein a fost nevoit să fundamenteze în prealabil o cinematică care a pus în evidență modificarea conceptelor clasice ale cinematicii galileene. În constituirea teoriei hertziene nu a intervenit necesitatea modificării acestor concepte, dar condiția de convergență (92) fiind incompatibilă cu relația cinematicii galileene $v < \infty$, impune o cinematică adecvată. Spre deosebire de teoria lui Einstein, electrodinamica hertziană precede elaborarea unei cinematici asociate. Problema construirii unei cinematici compatibile cu electrodinamica

hertziană necesită însă răspunsuri la întrebările : este posibil să se determine o transformată a coordonatelor de la un referențial la alt referențial care să permită deducerea cu ajutorul acestora a formulelor hertziene de transformare a mărimilor electrice și magnetice în același mod ca în teoria Einstein-Minkowski? cum și în ce fel se poate constitui o cinematică și o dinamică hertziană și cum și în ce fel se modifică conceptele de distanță, durată, masă etc.? Elemente de cinematică și dinamică hertziană sînt elaborate în [10], [23—27]. Relațiile hertziene de transformare a coordonatelor de la referențialul propriu S_0, care se deplasează inerțial în raport cu referențialul S, sînt prezentate în tabelul 4. Dacă se compară tabelele 2 și 4 se constată că transformatele specială și generală Lorentz sînt similare cu cele hertziene cu deosebirea că în locul lui γ_L intervine γ_H;

— s-a reproșat teoriei lui Hertz apartenența la teoria eterului complet antrenat. Într-o formulare cinematică a procesului iterativ [10], [22] se arată însă că antrenarea eterului scade odată cu ordinul iterației, încît la limită pentru $n \to \infty$, eterul nu mai e deloc antrenat. Se poate deci conchide că în teoria hertziană problema eterului este o problemă deschisă, existența acestuia nefiind nici confirmată, dar nici infirmată. Acest rezultat este cu atît mai important cu cît în teoria lui Einstein, eterul ignorat în relativitatea restrînsă intervine inevitabil în teoria relativității generale. Cu privire

Tabelul 4

Relațiile de transformare a coordonatelor în teoria relativistă hertziană

Transforma a specială Hertz

$$x = \gamma_H(x_0 + vt_0)\,;\quad y = y_0\,;\quad z = z_0\,;$$

$$t = \gamma_H\left(t_0 + \frac{x_0 v}{c^2}\right)\,;\quad \gamma_H = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}.$$

Transformata generală Hertz

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \varkappa_H \frac{\mathbf{v}}{v^2}(\mathbf{r}_0 \cdot \mathbf{v}) + \gamma_H \mathbf{v} t_0\,;$$

$$t = \gamma_H\left(t_0 + \frac{\mathbf{r}\cdot\mathbf{v}}{c^2}\right)\,;\quad \varkappa_H = \gamma_H - 1.$$

la eter, Einstein precizează următoarele : *Recapitulînd, se poate afirma că în acord cu teoria relativității generalizate spațiul are proprietăți fizice : în acest sens există eter. În conformitate cu teoria relativității generalizate spațiu fără eter este de neconceput ; într-un astfel de spațiu nu e posibilă propagarea luminii și de asemenea, nici posibilitatea existenței standardelor de spațiu și timp (rigle și ceasornice de măsură) și de aceea nici intervalele spațiu-timp în sens fizic. Însă acest eter nu poate fi imaginat ca fiind prevăzut cu calitatea caracteristică mediului ponderabil care să consiste din părți ce pot fi urmărite în timp. Ideea de mișcare nu poate fi atribuită acestuia* [20]. Se pune în mod firesc întrebarea : cum operează *principiul de corespondență*, conform căruia conceptele și legile relativității restrînse rezultă prin particularizare din cele ale relativității generale?

— fundamentarea diferită a celor două teorii implică și interpretări diferite ale conceptelor de relativitate einsteiniană, respectiv hertziană. Dacă în relativitatea restrînsă toate referențialele inerțiale sînt egal îndreptățite în descrierea evenimentelor, teoria lui Hertz care operează exclusiv cu mărimi proprii conferă referențialului propriu un rol privilegiat. O reevaluare euristică a celor două concepte de relativitate apare astfel inevitabilă.

Bibliografie

[1] Maxwell, J. C. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. 2 vol. Londra, Oxford Univ. Press, ed. 1, 1983.

[2] Einstein, A. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. In : Ann. d. Phys., 17, 891—921 (1905).

[3] Hertz, H. R. *Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper*. In : Wied. Ann., 41, 369—399 (1890).

[4] Born, M. *Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen elementardargestellt*. Berlin, Springer, 1922.

[5] Panofski, W., Phillips, M. *Classical Electricity and Magnetism*, Addison—Weslex, Cambridge, 1962.

[6] Hammond, P. *Applied Electromagnetism*, Oxford, Pergamon Press, 1971.

[7] Timotin, A., Țugulea, A. *Asupra interpretării electrodinamicii Maxwell-Hertz în lumina teoriei relativității*. In : Bul. Inst. Polit. Buc. XXVI, Fasc. 2 (1964).

[8] Mocanu, I. C. *Some Difficullies within the Framework of Relativistic Electrodynamics*. In : Arch. f. Elektr 69, 97—110 (1986).

[9] Mocanu, I. C. *The Electeodynamic Potentials in the Maxwell-Hertz theory*. In : Rev. Roum. Sci. Techn. — Électrotechn. et Énerg., 29, 1,3—10 (1984).

[10] Mocanu, I. C. *Electrodinamica hertziană a corpurilo în mișcare* (la viteze relativiste), Ed. Acad. RSR, București, 1985.

[11] Rădulet, R. *Les espèces de grandeurs électromagnétiques primitives*. In : Rev. roum. d'électrotechn. et d'énerg. Série A., VIII, nr. 1, 1963.

[12] Mocanu, I. C. *Teoria cîmpului electromagnetic*. Ed. Did. și Ped. București, 1981.

[13] Ionescu, V. *Conducerea structurală a sistemelor liniare*. Ed. Tehn. 1986.

[14] Fock, V. *The theory of space, time and gravitation*. Pergamon Press, London, 1959.

[15] Minkowski, H. *Die Grundgleichungen für die elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Körper*. Göttinger Nachr., 53—111 (1908).

[16] Hertz, H. R., *Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper*. In : Wied. Ann., 40, 577—601 (1890).

[17] Poincaré, H. *Știință și ipoteză*. Ed. Științifică și Enciclopedică, Buc., 1986.

[18] Destouches, J. L. *La Physique Mathématique.* Paris, Presses Univ. de France, 1964.
[19] Destouche, J. L., *Essay sur l'unité de la physique théorique.* Teză de doctorat, Timişoara, 1938.
[20] Clotfelter, B. *Reference systems and inertia.* The Iowa State Univ. Press. Ames. Iowa, 1970.
[21] Bowler, M. G. *Gravitation and Relativity.* Pergamon Press, NY, 1976.
[22] Cowperthwaite, G. J. *The Conceptual Foundations of Contemporary Relativity Theory.* Pergamon Press, 1970.
[23] Mocanu, I. C. *Hertzian Alternative to the Special Theory of Relativity. I. Qualitative Analysis of Maxwell's Equations for Motionless Media,* Hadronic Journal, vol. 10, 61—74 (1987).
[24] Mocanu, I. C. II. *Qualitative Analysis of Maxwell-Hertz and Einstein-Minkowski Equations,* Hadronic Journal, vol. 10, 153—166 (1987).
[25] Mocanu, I. C. III. *Iterative System of Equations and Transformation Formulae for Eletromagnetic Quantities* Hadronic Journal, vol. 11, 231—247, 1988).
[26] Mocanu, I. C. IV. *Kinematic Analysis of the Iterative Process,* Hadronic Journal, vol. 11, 35—53, (1988).
[27] Mocanu, I. C. V. *Elements of Hertzian Mechanics,* vol. 11, 55—69, (1988).
[28] Nicolau, Ed. *Cimpuri şi unde electromagnetice.* Bucureşti, Ed. Acad. RSR 1972.
[29] Ionescu-Pallas, N. *Relativitate generală şi cosmologie,* Ed. ştiinţ. şi enc. Bucureşti, 1980.
[30] Bărbulescu, N. *Bazele fizice ale relativităţii einsteiniene,* Ed. ştiinţ. şi enc. Bucureşti, 1979.
[31] Sofonea, L. *Principii de invarianţă în teoria mişcării.* Ed. Acad. RSR Bucureşti, 1974.
[32] Sterian, P. *Mecanica relativistă şi noţiuni de teoria gravitaţiei,* Ed. tehn. Bucureşti, 1964.
[33] Tocaci, E. *Mecanica relativistă, timpul şi inerţia.* Ed. ştiinţ. şi enc. Bucureşti, 1980.
[34] Vasiu, M. *Electrodinamica şi teoria relativităţii* Ed. Did. şi Ped. Bucureşti, 1979.

Prof. dr. ing. C. I. Mocanu

EVOLUŢIA CONCEPTULUI DE SPAŢIU—VID ÎN FIZICĂ

Conceptul de spaţiu-vid este instalat în fizică, în micro şi macrofizică, şi se referă la o realitate substanţială, cu caracteristici definite; pe acest concept se bazează importante teorii. La această accepţie s-a ajuns în timp, prin evoluţie Articolul punctează cîteva aspecte din macrofizică, în trei perioade; în antichitate, la începuturile erei moderne şi în actualitate.

În cartea a IV-a a fizicei sale Aristotel s-a ocupat de loc, vid şi timp. Locul (topos), adică spaţiul, este demonstrat ca *„un lucru independent de corpuri"*, a cărui primordialitate o admite după Hesiod: *„cel dintîi dintre toate lucrurile a fost haosul"*. Odată precizate existenţa şi proprietăţile spaţiului, Aristotel consideră că *„este de datoria celui care se ocupă de natură să cerceteze şi despre vid, dacă există sau nu şi cum este şi ce este"*. Într-o analiză pertinentă ajunge la concluzia inexistenţei vidului, nici separat de corpuri şi nici în interiorul corpurilor.

Această concepţie despre vid a stat îndelung timp la baza unei false teorii, *eroarea de vid*, care explică unele fenomene. Deşi în evul mediu se utilizau pompe aspiratoare şi respingătoare, funcţionarea lor se explica fals prin eroarea de vid. Dacă s-ar fi utilizat pompe cu aspiraţie la mare înălţime s-ar fi dovedit falsitatea teoriei.

La începuturile perioadei moderne, experimentarea şi analiza ei devenind metode de încredere în stabilirea adevărului, au schimbat şi concepţia asupra vidului. Evangelista Torricelli face senzaţie descoperind tubul barometric în 1643—1644. Captivat de rezultat, Blaise Pascal se consacră cîţiva ani studierii vidului, presiunii atmosferice şi echilibrului fluidelor, efectuînd experienţe memorabile, cu o mare rigurozitate. Ridicarea nivelului mercurului în tubul barometric, precum şi al apei în pompa de aspiraţie sînt corect explicate prin crearea vidului, dar şi a existenţei presiunii atmosferice. Convins de adevărurile ştiinţifice pe care le-a stabilit, Pascal lansa defiul: *Discipolii lui Aristotel să adune tot ce este solid în scrierile maestrului lor şi ale comentatorilor pentru a explica fenomene prin oroarea de vid, dacă pot; dacă nu, să admită că experienţele sînt adevăratele stăpîne pe care trebuie să le urmeze în fizică; aceea care a fost făcută pe munte a răsturnat încrederea universală că natura are oroare de vid şi a deschis această cunoştinţă, care nu va mai putea vreodată să dispară, că natura nu are nici o oroare de vid, că nu face nimic pentru a îl evita şi că greutatea masei de aer este veritabila cauză a tuturor efectelor atribuite pînă acum acestei cauze imaginare.*

În aceeaşi perioadă, Otto von Guerricke făcea memorabilele experienţe cu emisferele vidate de la Magdeburg. El ne vorbea de vid, ci de „nimic" (nichts), adică atribuia vidului caracterul de nonexistenţă.

Astfel „vidul" şi-a făcut intrarea în ştiinţă fără vreun suport în consideraţii filozofice, ci numai pe bază de constatări ale experienţelor.

Conceptul de vid nu a fost însă acceptat imediat; descoperitorii lui au intrat în divergenţă cu cei care afirmau valabilitatea adevărurilor prestabilite, între ei fiind şi somităţi ale ştiinţei, precum Galilei şi Descartes (acesta din urmă s-a exprimat foarte sever despre Pascal, considerîndu-l tînărul „cu prea mult vid în cap").

Tehnica a beneficiat repede de descoperirile lui Pascal, folosite la baza funcţionării unor maşini mecanice. Ca atare conceptul de vid nu mai putea fi eliminat.

Dar Pascal nu remarcase că ceea ce descoperise nu era vidul absolut, vidul filozofic, vidul lui Aristotel, ci un spaţiu în care substanţa era rarefiată, vidul tehnic cum este numai astăzi. Această carenţă nefiind sesizată, Pascal izbutise să doboare baza unei false teorii, a ororii de vid.

Dar apariția vidului nu s-a limitat la știința și tehnica mecanică, ci și-a făcut loc și în noua știință și tehnică a electricității. Prezența lui are însă aspecte controversate.

În teoria electromagnetismului conceptul de spațiu vid intervine frecvent, considerat ca un „dat", fără vreo motivare a posibilității existenței lui. Discutarea acestui concept are o mare importanță, deoarece de el se leagă dezvoltarea teoriei electromagnetismului și permite urmărirea demersului gîndirii care a stat la baza ei.

În continuare se prezintă pe scurt evoluția intervenției conceptului de spațiu vid.

În prima perioadă, a începuturilor constituirii teoriei, întemeiată pe relația coulombiană, cînd se admitea concepția newtoniană a acțiunii la distanță nu era necesară intervenția mediului. Expresiile matematice ale interacțiunilor între sarcini electrice și între masele magnetice nu cuprindeau vreun termen referitor la mediu; matematicienii, începînd cu Simeon Denis Poisson, care au construit teoria matematică a electrostaticii nu au introdus mediul în relațiile lor; chiar mai tîrziu, însuși Maxwell scria interrelațiile fără termen referitor la mediu sau introducînd unitatea mai mult ca evidență.

Fizicianul Abraham afirma că ar fi *„imposibil să se descrie fenomenele dependent de mediu, cu legea acțiunii la distanță"*.

Faraday a intuit primul necesitatea introducerii participării mediului și a imaginat că acesta intervine mecanic la transmiterea interacțiunilor, prin contigenitate.

Astfel s-a ajuns la două concepții diferite, situație pe care Maxwell o caracteriza sugestiv: : *Faraday vedea un mediu acolo unde ei nu vedeau nimic altceva decît distanțe*; *Faraday căuta sediul fenomenelor în acțiuni reale petrecîndu-se în mediu, ei erau satisfăcuți că îl găsiseră într-o putere a acțiunilor la distanță* (Maxwell vol. I, prefață p. IX).

Dar un mediu activ unic nu era ușor de găsit. Atenția s-a îndreptat spre spațiul vid, care putea fi umplut cu un mediu cu caracteristici corporale excepționale, eterul.

Conceptul de spațiu vid l-a utilizat cel dintîi Lord Kelvin imaginînd experiențe virtuale prin realizarea de cavități în corpuri polarizate electric și în corpuri magnetizate, ceea ce i-a permis să definească vectorii $\bar{E}$ și $\bar{D}$, $\bar{H}$ și B, care caracterizează cîmpul electromagnetic, modalitate de demonstrație invocată și în prezent. Maxwell afirma manifestarea cîmpului electromagnetic și într-un *„așa-numit vacuum din care am extras orice substanță asupra căreia putem acționa cu mijloacele la dispoziția noastră"*.

Astfel s-a introdus spațiul vid în teoria electromagnetismului. Dar această teorie a făcut un pas mai departe, Maxwell dezvoltînd teoria electromagnetică a luminii, și-a însușit în acest scop teoria ondulatorie a luminii, care se baza pe admiterea conceptuală a unui mediu special, eterul. Ca urmare spațiul fenomenelor electromagnetice nu mai era spațiul vid, ci spațiul eter.

Această concepție stînjenitoare a fost acceptată volens-nolens și perpetuată după Maxwell, de Hertz și Lorentz, primul admițînd eterul mobil, total antrenat de corpurile în mișcare, iar al doilea imobil.

Desigur, această controversă nu putea dura în fizică.

Teoria relativității și interpretarea Einstein—Minkowski au golit de eter spațiul și astfel electrodinamica relativistă actuală admite un spațiu vid lipsit de substanță corporală, dar cu observația că referențialele proprii nu pot fi admise decît în spațiul în care există corpuri.

În prezent, electrodinamica tratează entitățile electromagnetice distinct: în spațiul vid și în spațiul corporal. În orice tratat de electromagnetism se întîlnește această dualitate.

Școala prof. Răduleț acordă o importanță deosebită spațiului vid, cîmpul electric și inducția magnetică în vid fiind considerate mărimi primitive.

Vidul teoriei electromagnetismului nu este „un gol" sau „nimic" sau „spațiu cu conținut de substanță rarefiată", ci este „ceva" cu proprietăți fizice; are permeabilitate și permitivitate și poate propaga cîmpul electromagnetic. S-a ajuns la această concepție din necesitatea de-a avea un mediu referențial, omogen și izotrop. Deci spațiul vid nu reprezintă în teoria electromagnetismului un mediu fizic, ci unul convențional. Un spațiu vid sugerează ideea de incorporabilitate, dar spațiul convențional al electromagnetismului are proprietăți fizice.

Astfel, fizica nu a putut să admită ideea unui spațiu gol, ci, deși a eliminat eterul, a trebuit să accepte ideea unui spațiu care totuși conține ceva, în plus de geometrie. Relativitatea generalizată are nevoie de un spațiu riemannian, adică cu anumite proprietăți geometrice, dar electromagnetismul are nevoie de propriul său spațiu vid.

În consecință, asupra spațiului vid nu s-a spus încă ultimul cuvînt în fizică. Alte concepții ar putea conduce la reformulări ale unor teorii actuale.

Rezumînd cele expuse se constantă o evoluție a conceptului de spațiu vid în felul următor:

— Aristotel nu admitea spațiul vid;
— Pascal a descoperit vidul relativ;
— teoria electromagnetismului folosește un spațiu vid convențional și provizoriu (părerea autorului).

Ing. PAUL CARTIANU
ISPE

NOUTĂȚI

*Invenții — Inovații**

(54) Titlul invenției: **INSTALAȚIE DE CAPTARE A ENERGIEI VALURILOR**

(72) Autori: prof. Haivas Emilian, dr. ing. Sturzu Aurel, ing. Constantin Iulian, ing. Lazăr Dan Petru, ing. Zaharia Vasile

(22) Data înregistrării: 24.09.1986
(45) Data publicării: 30.07.1988
(51) Clasificare internațională: F 03 B 13/12
(11) Brevet România: 94888

(73) Titular: Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice, București

Invenția se referă la o instalație de captare a energiei valurilor, destinată ridicării și acumulării apei de mare la un nivel superior, în scopul unei turbinări ulterioare și al producerii curentului electric.

Conform invenției, instalația de captare a energiei valurilor este constituită dintr-un arbore **1** de lungime corespunzătoare (fig. 1), așezat pe două sau mai multe lagăre **2** de alunecare sau rostogolire, montate în cîte un suport **3**, fixat la un cadru **4** de beton armat, prin intermediul unor buloane **5**. Pe arborele **1** sînt montate liber niște tambure **6**, iar în interiorul acestora sînt montate niște roți dințate **7** pentru clichet, împănate pe arborele **1**. Poziționarea tamburelor **6** în lungul arborelui **1** se face cu ajutorul unor distanțiere **8**, fixate în poziția dorită cu cîte un șurub **9**. Pe fiecare din tamburele **6** se leagă cîte un cablu **10** sau lanț, care se înfășoară pe o anumită lungime. La celălalt capăt al cablului **10** se leagă o contragreutate **11** de o greutate convenabilă, în așa fel încît să țină întins cablul **10**. Pe fiecare tambur **6** se mai leagă în același mod și se înfășoară în sens invers un alt cablu **12** sau lanț la extremitatea căruia se leagă un flotor **13**, care are o masă mult mai mare decît masa contragreutății **11**. Cablurile **10** și **12** lucrează pe niște scripeți **14** fixați la o structură metalică **15** cu ajutorul unor buloane **16** sau prin sudură. Flotoarele **16** într-un număr suficient de mare, sînt dispuse într-o poziție similară celei în formă de șah, la distanțe convenabile pe o anumită suprafață marină, și au o mișcare pendulară datorită legării acestora, printr-o tijă **17** și un rulment **18**, la o structură rigidă **19**, care susține întregul sistem de captare și transmitere a energiei valurilor. La ridicarea flotorului **13** de către valurile mării, contragreutatea **11** se va deplasa în poziția indicată punctat în figura 2, pe o distanță egală cu înălțimea valului, producînd astfel rotirea tamburului **6** cu un anumit unghi. În același timp, cu tamburul **6** se va deplasa peste un anumit număr de dinți ai roții dințate **7** un clichet **20** solidar cu acest tambur **6**.

La coborîrea valului flotorul **13** va coborî și el, iar clichetul **20** va antrena roata dințată **7** în sens opus, rotind cu aproximativ același unghi arborele **1** pe care este împănată această roată dințată **7**.

În mod asemănător vor contribui la rotirea arborelui **1** fiecare din tamburele **6**.

La unul din capetele arborelui **1** sau la ambele capete, precum și în alte poziții convenabile în lungul acestuia, se montează cîte o roată dințată **21**, împănată pe arborele **1**, care antrenează o curea lată **22**, dințată, sau un lanț pe care sînt montate niște cupe cilindrice **23** din mase plastice sau alt material rezistent la apa salină. Cureaua lată **22** rulează în partea de jos pe o roată dințată **24** liberă, pe un ax **25** fixat în pereții de beton ai cadrului **4**, într-un compartiment de preluare a apei de către cupele cilindrice **23**. În partea superioară cureaua lată **22** rulează pe o altă roată dințată **26**, de asemenea liberă pe un ax **27**, solidar cu structura metalică **15**, fixată la cadrul **4** de beton armat. Rotirea arborelui **1** și deci a curelei late **22** se face într-un singur sens datorită unui mecanism cu sens unic, constituit dintr-o roată dințată **28**, împănată pe arborele **1**, și dintr-un clichet gravitațional **29**, sau de alt tip, fixat pe suportul lagărului **3** cu ajutorul unei console **30**, prin intermediul unor șuruburi **31**.

La asamblarea arborelui **1** în lagărele **2** se prevede cîte un element de etanșare **32**. Arborele **1** și întregul ansamblu de elemente montate în lungul acestuia sînt protejate cu o carcasă **33**, iar toate părțile componente ale instalației descrise, cu excepția flotoarelor **13**, se află protejate într-o încăpere **34** de construcție adecvată, amplasată la un capăt de dig spre larg, pe o platformă marină fixă sau flotantă.

Arborele **1** poate acționa fie cureaua lată **22** cu cupele **23**, fie o pompă volumetrică **35** pentru ridicarea apei de mare la nivel superior într-un castel de apă **36**, de unde va circula, pe principiul vaselor comunicante, pornind de la baza caste-

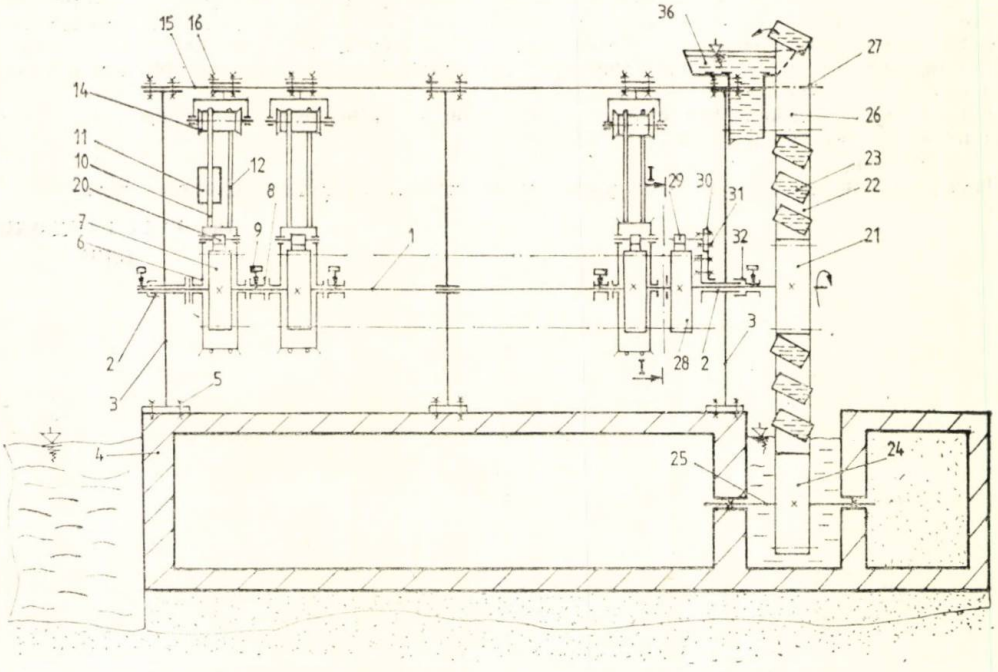


Fig. 1. Schema de principiu a instalației de captare a energiei valurilor.

* Rubrica alcătuită cu sprijinul ing. Nicolae Pănoiu — MEE.

lului, printr-o conductă și urcînd pe țărmul înalt într-un bazin de acumulare. La orele de vîrf de sarcină a consumului electric, apa acumulată va fi turbinată pentru a produce curent electric compatibil cu rețeaua națională, la fel ca în orice hidrocentrală gravitațională cu lac de acumulare.

Pentru micșorarea frecărilor pe scripeții **14**, cablurile **12** sau lanțurile vor fi continuate cu cîte o țeavă metalică **37**, de lungime corespunzătoare, spre largul mării. Protecția părții inferioare a cadrului **4** de beton armat, care, de fapt, se constituie într-un dig energetic, se realizează cu o carapace **38** din elemente de construcție adecvate, în sine cunoscute, ca, de exemplu, stabilopozi.

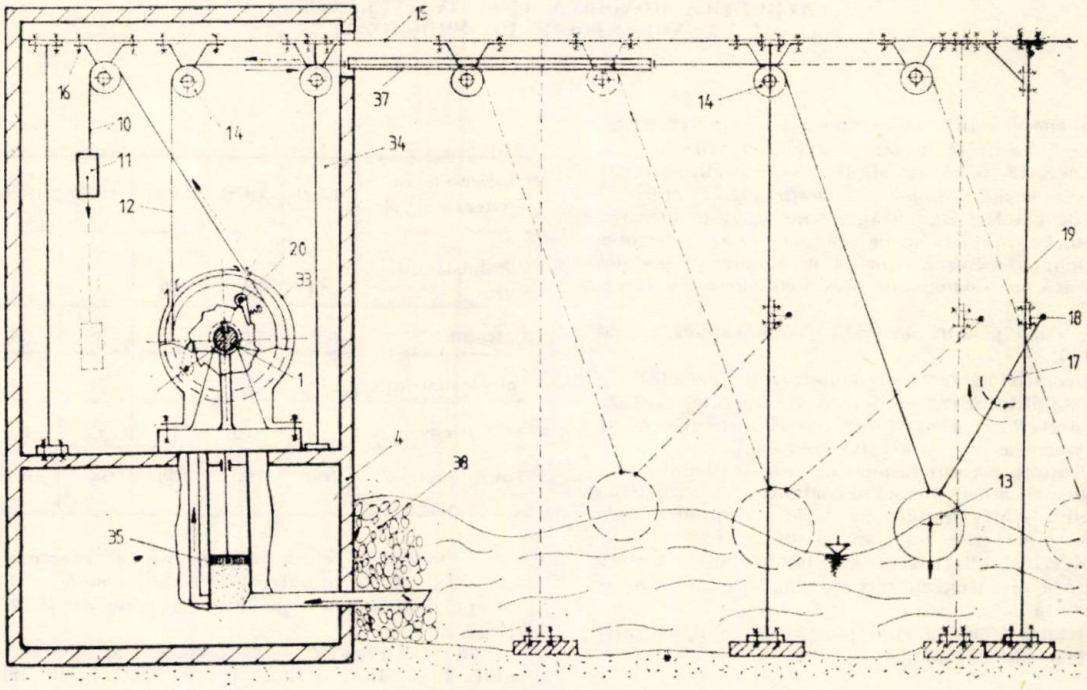


Fig. 2. Vedere laterală cu secțiune parțială a instalației de captare a energiei valurilor.

Instalația de captare a energiei valurilor, conform invenției, prezintă următoarele avantaje :

— permite transportul și acumularea apei de mare la nivel superior ;

— asigură captarea cu randament ridicat a energiei valurilor de pe o anumită suprafață marină și obținerea unei mișcări aproximativ continue a arborelui motor.

ENERGETICA MONDIALĂ PÎNĂ ÎN ANUL 2000 UN NOU STUDIU DE PROGNOZĂ

Importanţa energiei în viaţa economică şi socială determină continue preocupări în sensul evoluţiei viitoare.

Urmărind această temă în studiile care s-au succedat cărţii *„Energetica mondială în perspectiva sfîrşitului de mileniu"* (Editura Academiei R.S.R., 1985), ne-am oprit la lucrarea „Energie 2000. Une projection de référence et ses variantes pour la Communauté Européenne et le Monde a l'horizon 2000", publicată de Commission des Communautés Européennes 1986.

Dintre cele două planuri de tratare vom expune numai planul mondial.

Condiţiile evoluţiei energetice mondiale în perioada 1983—2000 au fost stabilite în cartea de care ne ocupăm, pe baza studiilor elaborate între 1981 şi 1983 de 12 instituţii, întreprinderi şi congrese cu profil internaţional.

Metoda aplicată a constat în analiza necesităţilor şi resurselor de energie primară ale ţărilor importante şi ale grupurilor de ţări, alegînd dintre ipoteze pe acelea cu probabilitate suficientă. Pe această cale s-a ajuns la un „proiect de referinţă". Considerînd alternative ale unora dintre factorii care influenţează evoluţia, au rezultat variante ale „proiectului de referinţă".

Situaţia în anul 2000 va fi o poziţie de echilibru între limitele extreme ale deviaţiilor.

Date de sinteză privind evoluţia consumului şi producerii de energie primară în „proiectul de referinţă"

1. *Consumurile de energie primară* sînt prevăzute să evolueze între 1983 şi 2000 după cum urmează, în valori absolute (în Mtep):

Combustibilii solizii	de la	2229	la	3453
Petrolul	de la	2806	la	3436
Gazele naturale	de la	1336	la	2069
Total grupa 1	de la	6371	la	8958
Energia nucleară	de la	240	la	774
Energia hidro	de la	180	la	282
Alte surse	de la	481	la	814
Total grupa 2	de la	901	la	1870
Total general	de la	7272	la	10828

2. *Ponderile variatelor forme de energie primară* [în %] în consumul total mondial de energie primară, între 1980 şi 2000, prezintă următoarea evoluţie (tabelul 1): combustibili solizi în creştere lentă, petrolul în scădere accentuată, gazele naturale practic staţionare, alte surse (nucleară, hidro etc.) în creştere accentuată, datorită energiei nucleare.

3. *Ponderile consumurilor totale de energie primară* [în %] pe grupuri de ţări prezintă între 1980 şi 2000 următoarea evoluţie (tabelul 2): scădere accentuată pentru ţările industrializate, creştere lentă pentru ţările cu economie central planificată şi creştere accentuată pentru ţările în curs de dezvoltare. Din anul 1983, ponderea sumei acestor două grupuri egalează pe a ţărilor industrializate, iar în anul 2000 această pondere va depăşi cu mult pe a ţărilor industrializate.

Tabelul 1

Sursele de energie [%]	1960	1970	1980	1983	1990	2000
Combustibilii solizi	44	29	29	31	30	32
Petrolul	37	44	42	39	36	32
Gazele naturale	14	17	18	18	19	19
Alte surse	5	10	11	12	15	17
Total	100	100	100	100	100	100

4. *Consumurile de energie primară* vor prezenta, în perioada 1983—2000, următoarele creşteri anuale medii [în %]:

— pe plan mondial pe întreaga perioadă 1983—2000 de 2,4%;

— pe plan mondial pe subperioade: 2,8% pentru intervalul 1983—1990 şi 2% pentru intervalul 1990—2000;

— pe grupuri de ţări, pe intervalul 1983—2000: cea mai mică creştere, de 1,8%, pentru grupa ţărilor industrializate, cea mai mare creştere, de 3,4%, pentru grupa ţărilor în curs de dezvoltare şi de 2,5% pentru grupa ţărilor cu economie planificată centralizat;

— după natura surselor de energie pe intervalul 1983—2000: cea mai mică creştere de 1,2%, pentru petrol; cea mai mare creştere, de 7,2%, pentru energia nucleară; cu valori intermediare de: 2,5% pentru combustibili solizi şi gazele naturale, 2,8% pentru energia hidro şi 3% pentru alte resurse;

— pentru energia nucleară creşterile medii vor fi de: 6,6% în ţările industrializate, 8,5% în ţările în curs de dezvoltare şi 9,9% în ţările cu economie planificată centralizat.

Tabelul 2

Grupurile de ţări	1960	1970	1980	1983	1990	2000
Industrializate cu economie de piaţă	61	58	52	50	48	45
Cu economie centralizat planificată	26	26	32	33	33	34
În curs de dezvoltare	13	16	16	17	19	21
Total	100	100	100	100	100	100

5. *Producţia de energie primară* va creşte între 1983 şi 2000, pe grupuri de ţări, în valori absolute (în Mtep) după cum urmează:

— în ţările industrializate: de la 2 666 la 3 721
— în ţările în curs de dezvoltare: de la 1 996 la 3 261

— în țările cu economie planificată centralizat de la 2 583 la 3 853
— în total de la 7 245 la 10 835

6. *Producția de energie primară*, între 1983 și 2000, va crește pe plan mondial după *natura energiilor primare* în valori absolute (în Mtep) după cum urmează:

— combustibilii solizi de la 2 225 la 3 456
— petrolul de la 2 767 la 3 421
— gazele naturale de la 1 352 la 2 087
— energia nucleară de la 240 la 774
— energia hidro de la 180 la 282
— alte energii de la 481 la 814
— în total de la 7 445 la 10 835

7. *Producția de energie primară* va evalua între 1983 și 2000 pe mari regiuni conform tabelului 3.

Tabelul 3

Țara/Regiunea	1983	2000
Țări industrializate :		
Japonia	46	157
CEE	516	625
S.U.A.	1547	1981
Alte țări industrializate	557	958
Total	2666	3721
Țări în curs de dezvoltare :		
OAPEP [2]	641	1165
OLADE [3]	519	631
Alte țări	836	1465
Total	1996	3261
Țări cu economie planificată centralizat :		
U.R.S.S.	1472	2135
China	632	1067
Alte țări	479	651
Total	2583	3853
Total pe plan mondial	7245	10835

1) Comunitatea Economică Europeană ; 2) Organizația Țărilor Arabe Exportatoare de Petrol ; 3) Organizația Energetică a Țărilor Americii Latine.

Producția de combustibili în unele țări

1. Autorul studiului de prognoză citat prevede că pînă în anul 2000 *producția de cărbuni* va crește în principal: în S.U.A. (60 Mtep), Africa de sud (30 Mtep), China (350 Mtep), U.R.S.S. (70 Mtep) și țările est-europene (70 Mtep); posibilități există în India și Coreea de Sud.

2. *Producția de petrol* în țările industrializate nu va crește: excepție face Canada; posibilități de creștere vor apărea dacă se va generaliza recuperarea terțiară sau se vor descoperi noi zăcăminte.

Dintre țările cu economie planificată centralizat numai China va înregistra o creștere importantă (50 Mtep) a producției de petrol.

În țările OAPEP producția va crește cu 70 %, ajungînd la 1 000 Mtep, din care 50 % va reveni Arabiei Saudite și 20 % Irakului.

În America Latină producția, în 2 000, va fi de 330 Mtep, la care vor participa în principal: Mexic (150 Mtep, eventual 250 Mtep), Venezuela (100 Mtep), Columbia, Ecuador și Peru (40 Mtep).

În Africa cel mai important producător va rămîne Nigeria (75 Mtep), iar grupul Angola, Gabon, Camerun, Congo și Zair va putea ajunge la 50 Mtep.

În Asia, Iran ar putea ajunge atinge o producție de 250 Mtep, dar trebuie avută în vedere și o alternativă minimală de 100 Mtep.

Indonezia va atinge producția de 80 Mtep.

Alte țări asiatice producătoare sînt: India și Malaezia.

3. Previziunile asupra *producției de gaze naturale* sînt mai nesigure decît acelea asupra petrolului, deoarece potențialul mondial de producere a acestui combustibil este mai puțin cunoscut.

Producția de gaze naturale în țările industrializate va scădea, excepție făcînd Canada. Dintre țările cu economie planificată centralizat, numai U.R.S.S. dispune de posibilități pentru o creștere importantă. Nigeria, Iran și țările OAPEP au potențial de creștere a producției.

4. Producția de energie electrică produsă pe cale nucleară va crește în mod semnificativ în țările industrializate și în Europa de est.

5. Producția de energie electrică produsă pe bază hidraulică va crește în special în unele țări din Africa și Asia.

Principalele incertitudini cu impact asupra evoluției energetice

Incertitudinile cu impact asupra consumului energiei sînt: creșterea economică, prețurile energiilor primare, introducerea de tehnologii noi și posibilitățile de substituire a unor forme de energie.

Pentru „proiectul de referință" s-a admis o creștere economică pe plan mondial medie anuală de 3,3 %, mai mică pentru țările industrializate (3 %) și mai mare pentru cele în curs de dezvoltare (4,5 %). Dar și între țările acestor două grupe sînt deosebiri; de exemplu pentru S.U.A. și Comunitatea Economică Europeană creșterea economică adoptată este de 2,6—2,8 % ,pe cînd creșterea economică a Japoniei trece de 3 %. Influența acestui factor este semnificativă: o mărire cu 0,5 a creșterii medii anuale admisă de 3,3 % ar duce la creșterea consumului mondial de energie primară în anul 2000 cu 500 Mtep.

Variația prețului energiei primare poate aduce variații ale consumului între minus 700 Mtep și plus 600 Mtep.

Neintroducerea de tehnologii noi în ritm satisfăcător poate aduce creșteri ale consumului de 400 Mtep.

Principala incertitudine cu impact asupra disponibilităților de energie este nivelul furnizării de petrol pe care îl vor asigura țările OPEP, prevăzut în „proiectul de referință" de 29,5 milioane barili/zi. Aceste țări pot satisface nu numai acest nivel, ci și cereri suplimentare de 5 milioane barili/zi, la care s-ar mai putea adăuga de către Mexic 2 milioane barili/zi.

Incertitudine prezintă și gazele naturale cu privire la nivelul de furnizare de 2000 Mtep, prevăzut în „proiectul de referință".

În sfîrșit, și energia nucleară prezintă incertitudine, izvorită din temeri cu privire la pericolele pentru mediul ambiant.

Studiul de prognoză expus aduce completări interesante prevederilor din cartea: „Energetica mondială în perspectiva sfîrșitului de milenii", cu care este în parte în concordanță.

Ing. PAUL CARTIANU

CENTRALA TERMOELECTRICĂ PE CĂRBUNE, ECOLOGIC CURATĂ – VIITORUL ENERGETICII

(Rezultatele unui concurs organizat în U.R.S.S.)

(Rezumat)

Programul energetic de perspectivă al U.R.S.S. prevede printre altele, ca obiectiv principal, rezolvarea unor probleme legate de utilizarea combustibililor inferiori din bazinele Kansk-Acinsk și Ekibastuzsk, prin construirea unor noi CTE de mare putere și reconstruirea celor existente, în partea europeană a U.R.S.S., funcționînd pe aceste sorturi de cărbune.

Unul din factorii de frînare a unei utilizări largi a acestor cărbuni îl constituie lipsa unor tehnologii și echipamente sigure și eficiente, care să asigure scăderea substanțială a efectelor negative asupra mediului înconjurător.

În prezent centralele termoelectrice din U.R.S.S. emit anual în atmosferă circa 6 mil. t. de cenușă (35% din emisiile totale ale industriei U.R.S.S.), peste 8 mil. t de bioxid de sulf (44%) și circa 2 mil. t de oxizi de azot (60%). Toate acestea constituie peste 1/4 din toate emisiile nocive. Centralele termoelectrice constituie o puternică sursă de poluare a atmosferei orașelor și centrelor industriale, înrăutățind starea lacurilor și iazurilor, provocînd pierderi considerabile de teren prin depozitele de zgură și cenușă și contribuind într-o măsură importantă la așa-zisele ploi acide care au loc în întreaga parte europeană a U.R.S.S.

În cadrul programului tehnico-științific național *„Energetica ecologic curată"*, una din priorități o constituie subtema *„Centrala termoelectrică ecologic curată"*. Acest program prevede prelucrarea, crearea și asimilarea unor tehnologii și echipamente total noi pentru exploatările de cărbune, fabrici de îmbogățire a cărbunelui, centralele termoelectrice, care să asigure o ardere eficientă și nepoluantă a cărbunelui, valorificarea complexă a deșeurilor de la CTE pentru necesitățile economici naționale.

Sistemele antipoluante vor provoca scumpirea centralelor termoelectrice și pierderi suplimentare, care vor trebui compensate total sau parțial prin creșterea economicității și scăderea consumului de metal și a gabaritelor echipamentelor principale, precum și prin valorificarea deșeurilor de la centralele electrice.

Programul „Evrika", adoptat în Europa de Vest, prevede crearea unui bloc energetic ecologic curat, pe cărbune, iar în S.U.A., prin program de stat se realizează elaborarea cu prioritate a unor tehnologii ecologic curate privind valorificarea cărbunilor în energetică.

În U.R.S.S., pentru selectarea în programul național de cercetare amintit mai sus, s-a organizat un concurs, ale cărui rezultate sînt enunțate în prezentul articol.

Au fost primite 140 propuneri, dar nu toate au răspuns condițiilor concursului, din care cea mai importantă a fost aceea de a se elabora concepția unei CTE pe cărbune cu parametrii ecologici avansați, iar următoarea, în ordinea priorităților, ca această concepție să se aplice la cazul cărbunilor din bazinele menționate la începutul articolului (pentru extracție, îmbogățire, transport, centrala termoelectrică propriu-zisă, valorificarea deșeurilor și recultivarea terenurilor).

Pentru condițiile puse s-au stabilit următoarele cerințe ecologice:

– emisii maxime de cenușă în atmosferă: 0,5 g/m³ gaze ardere (pentru cărbunele de Ekibastuzsk – 0,1);

– emisii maxime oxizi de sulf: 0,2–0,3 g/m³ gaze ardere;

– emisii oxizi de azot: 0,15–0,2 g/m³ gaze ardere.

Toate cele trei valori se referă la condiții normale de exploatare:

– lipsa totală a apelor uzate;

– ponderea cenușii și a altor deșeuri valorificate în economia națională să constituie minimum 80%.

Concursul s-a anunțat în august 1988, iar propunerile s-au primit pînă în prima decadă a lunii noiembrie 1988.

În componența comisiei de concurs au intrat conducători și specialiști din: CNST–U.R.S.S., M.E.E.–U.R.S.S., Comisia de stat pentru protecția mediului, CSP; IGESIC–U.R.S.S., Ministerul Industriei cărbunelui al U.R.S.S., Ministerul Construcțiilor de Utilaj Greu al U.R.S.S. și altele.

În grupa de experți au fost antrenați oameni de știință și specialiști din numeroase organizații neutre. Grupa de experți a recenzat lucrările pe baza unui chestionar cu 16 întrebări.

Aprecierea finală a propunerilor de către experți s-a făcut pe criteriul oportunității și priorității introducerii lor în Programul național de cercetare. Fiecare propunere s-a expertizat de 3,6 sau 9 specialiști în ecologie, energetică și industria cărbunelui, funcție de volumul și tematica propunerii, asigurîndu-se astfel condițiile de obiectivitate necesare. Aprecierile s-au prezentat pentru dezbatere în ședințele juriului.

În cea de-a treia rundă finală a concursului au rămas 39 propuneri, din care 9 pentru valorificarea cărbunilor de Kansk-Acinsk, 7 pentru cel de Ekibastuzsk, 9 pentrucărbunele de Kuznețk, 7 pentru cel de Donețk de tip AS înrăutățit. Șapte propuneri s-au referit la aspecte particulare.

S-au acordat 12 premii (premiul I nu s-a acordat) din care:

- 3 pentru propuneri de CTE pe cărbune de Kansk-Acinsk;
- 5 idem pentru căbune de Kuznețk;
- 2 idem pentru cărbune de Donețk;
- 2 pentru rezolvarea unor aspecte tehnice parțiale;

Propunerile de tehnologii privind extracția și îmbogățirea cărbunilor nu au fost suficient de fundamentate.

Institutului termotehnic unional din MEE–URSS i-au revenit cinci premii pentru:

- două propuneri privind centrale electrice cu instalații de abur-gaze cu o putere unitară de 650–700 MW cu gazeificarea cărbunelui în ciclu intern sub presiune și cu cazan valorificator, pentru cărbune de Kansk-Acinsk și separat pentru cărbune de Kuznețk:
- centrală electrică cu blocuri energetice de 800 MW, utilizînd filtre de pînză (tip sac) pentru reținerea cenușii și a oxizilor de sulf din gazele de ardere, cu preîncălzirea preliminară a prafului de cărbune pînă la 500–600°C, pe cărbune de Kansk-Acinsk;
- două propuneri de centrale termoelectrice ecologic curate cu cazane de 1000 t/h cu ardere în strat fluidizat circulant, pe cărbune de Kuznețk și separat pe cărbune de Donețk, tip AS înrăutățit.

La cele 5 propuneri au colaborat TEP unional, Electrosetiproiect, organizația „Gazoocistka" („Purificarea gazelor") Institutul Central de Cazane și Turbine, uzinele de cazane din Podolsk, precum și institute de învățămînt superior și alte organizații.

Institutul unional Vnipi-Energoprom din MEE–U.R.S.S., împreună cu Institutul Central de Cazane și Turbine au primit 1 premiu pentru propunerea:

- concepția unei CET cu instalații de abur-gaze cu gazeificarea în ciclu intern a cărbunelui de Kuznețk, sub presiune, la puteri unitare de 320 și 650 MW, cu cazan de abur de înaltă presiune.

Filiala din Asia centrală a Vnipi-Energoprom a primit un premiu pentru propunerea:

● concepția unei CET cu cazane în strat fluidizat circulant, de 500 t/h, cu utilizarea, în scopul eliminării oxizilor de sulf, a surplusului de var regenerat.

La aceste propuneri au luat parte și Institutul de Stat în Problemele Purificării Sanitare și Industriale a Gazelor de Ardere, aparținînd de MICh al U.R.S.S., Institutul pentru minereuri combustibile, aparținînd de Ministerul Industriei cărbunelui al URSS, Intreprinderea „Sibenergomaș" din MIUG al U.R.S.S., Institutul de Construcții din Leningrad.

S-au mai acordat un premiu Institutului Energetic „G. M. Krjijanovski" din MEE—U.R.S.S., pentru concepția unei CTE cu blocuri energetice cu turbine cu abur, avînd puterea unitară de 500 și 800 MW, cu arderea cărbunelui de Kansk-Acinsk la înaltă temperatură, cu preîncălzirea aerului la 750°C, cu curățirea „adîncă" a gazelor de ardere în filtre „ecologice" și cu purificarea preliminară de cenușă a gazelor în filtre rotative regenerative de preîncălzire a aerului. La elaborarea propunerii au mai participat: Estonglavenergo, CTE Kohtla-Iarvesk, Centrala Industrială „Saiuztehenergo", Filiala din Leningrad a Intreprinderii Orgenergostroi din MEE al U.R.S.S., Institutul „Ghiproțement" al MIMC—U.R.S.S., Institutul Politehnic din Tallin.

Pentru perfecționarea electrofiltrelor existente pe calea aplicării alternative la electrozi a unei tensiuni de semn diferit, care asigură o creștere substanțială a eficienței reținerii cenușii zburătoare și o siguranță sporită, s-a acordat un premiu Institutului Unional de Electrotehnie, din cadrul MIE al U.R.S.S. în colaborare cu întreprinderea „Complexul Electrotehnik Minusinsk", Institutul Unional de Termotehnică din cadrul MEE—U.R.S.S.

Premii de încurajare au mai primit și o serie de colective de autori, și anume:

● un colectiv complex de autori de la Institutul Energetic „Krjijanovski", Vnipi-Energoprom și Institutul Energetic din Ivanovo, pentru concepția de CTE cu instalații de aburgaze cu gazeificarea parțială a cărbunelui prin piroliză, cu preîncălzirea la înaltă temperatură a aerului în strat fluidizat, cu prefocare aerofontane (variantă preliminară);

● un colectiv de autori de la MEE—U.R.S.S., filiala de sud a VTI, Harkovenergo, Institutul de Stat pentru Metale Neferoase, Institutul Unional de Beton și Beton Armat, aparținînd de Gosstroi—U.R.S.S. pentru propunerea unei CTE cu cazane, destinate arderii combustibilului într-un topitor cu silicați utilizînd oxigen, care permite în mod practic să se utilizeze în întregime deșeurile de zgură și să se scadă de două ori conținutul de oxizi de sulf și de azot din gazele de ardere;

◆ un colectiv de autori de la Sverdlovsk pentru elaborarea unei concepții principal noi a unui reținător de cenușă rotativ (filtru de tip rotoric, granulat) care asigură o eficiență sporită a reținerii cenușii la o temperatură de 300°C cu scăderea substanțială a gabaritelor și consumului de metal.

Juriul concursului și colegiul de redacție al revistei „Termoenerghetika", prin care s-a lansat concursul inițiat de CNST al U.R.S.S., adresează mulțumiri concurenților și își exprimă convingerea că acțiunea va permite să se extindă în mod substanțial utilizarea cărbunilor inferiori în CTE ale U.R.S.S., concomitent cu asigurarea măsurilor de protecție ecologică.

Traducere și prelucrare **ing. MIHAI NISTOR**

PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII ENERGETICII NUCLEARE ÎN S.U.A.

Numărul blocurilor energetice la CNE în lume era în 1987 de 404, cu o putere instalată de 293,5 GW, din care 102 în S.U.A., avînd respectiv 89,4 GW. Energetica nucleară va economisi o cantitate de țiței de 107 miit/zi, scăzînd deficitul balanței de plăți al S.U.A. cu circa 5 miliarde dolari.

Programul de puneri în funcțiune a blocurilor CNE pe mapamond și în SUA, pentru viitorii 7 ani, precum și sporul de putere în GW, sînt redate în tabel.

Puterea centralelor electrice a crescut în S.U.A., în anul 1987, cu 10 GW, printre care două blocuri pe cărbune a 850 MW fiecare. După o întrerupere de 5 ani, în noiembrie

Anul	Total în lume		din care în S.U.A.	
	Nr.	GW	Nr.	GW
1988	33	30,8	7	7,9
1989	23	20,8	3	3,5
1990	16	14,3	2	2,2
1991	14	10,9	0	0
1992	15	12,1	0	0
1993	9	8,9	0	0
1994	6	3,9	1	1,2

1987 a început în S.U.A. execuția unei noi CTE, de această dată pe lignit, cu cazane cu ardere în strat fluidizat, revitalizarea centralelor electrice pe cărbune fiind simptomatică pentru S.U.A. Institutul Național de Protecție a Sănătății din S.U.A. a declanșat o cercetare de mari proporții în scopul evaluării influenței CNE asupra nivelului de mortalitate a populației care locuiește în imediata apropiere a amplasamentelor CNE.

(După: Electrical World, 1988, 202, nr. 4)

CALCULE TEHNICO-ECONOMICE PRIVIND UNELE DEZVOLTĂRI ENERGETICE ÎN MAREA BRITANIE

Direcția generală electroenergetică (DGEE) a Marii Britanii elaborează fundamentarea economică a construirii celui de al doilea bloc energonuclear de tip PWR, cu puterea de 1175 MW la CNE Hinkley Point. DGEE este convinsă, în continuare, de economicitatea acestui bloc în comparație cu centralele electrice pe cărbune. Cu toate acestea, se va elabora o analiză economică pe baza comparării cu alte surse de energie neconvențională. Această decizie este legată de denaționalizarea industriei electroenergetice, care se preconizează, din condițiile cărcia noile firme energetice vor trebui să primească 20% din energia electrică de la centrale electrice pe combustibili nefosili. În vederea realizării acestei cerințe, puterea generatoare a acestei categorii de centrale trebuie să fie, în anul 2000, de 12 GW. Avînd însă în vedere că în acel an se încheie durata de serviciu a unor CNE cu o putere de 3,5 GW, rezolvarea problemei s-ar putea face prin construirea unui număr de blocuri energonucleare PWE de același tip și putere.

După evaluările DGEE, la o rată de 5% a dobînzii la capital, costurile energiei electrice produse în centrale electrice eoliene ar fi de 2,8 pence/kWh, în centrale folosind energia mareelor în estuarul riului Severin — 3,5 pence/kWh în timp ce la CNE cu PWR acest cost este de 2,2 pence/kWh. CNE în discuție rămîne cea mai economică chiar la o rată a dobînzii de 10%. Pentru a compensa puterea acestei CNE ar fi necesară montarea unui număr de 9 mii generatoare eoliene.

Investiția în CNE „H. P.-S" se apreciază la 1470 mil. dol. (investiții specifice 1250 dol./kW), durata de execuție — la 78 luni, coeficientul de disponibilitate în energie — la 75%, iar durata de viață — la 40 ani.

DGEE a confirmat intenția sa de a depune cererea de acceptare a execuției unui bloc energonuclear tip PWR la Wylfet, în Walles, alături de un reactor, „Magnox", aflat în exploatare și a întreprinde cercetări pe amplasamentul din Sisewell în scopul stabilirii posibilităților de construire a celei de-a treia etape a CNE.

(După: Atomnaia tehnika za rubejom, nr. 1/1989)

NOUTĂȚI TEHNICE DIN POLONIA

1. Centrala nuclearoelectrică ZARNOWIEC (4×440 MW)

Amplasată în partea de nord a Poloniei, pe malul lacului Zarnoelickie, care este sursa apei de răcire, această CNE se va realiza în două etape de cîte 2 reactoare VVER-440, prima etapă fiind în curs de execuție. Fiecărei etape îi sînt asociate

cîte două turbine de tip 4 CK-465 executate de întreprinderea ZAMEC sub licența BBC, cu o putere de 465 MW fiecare.

Clădirea reactorului adăpostește două reactoare VVER. Incintele etanșe ale reactoarelor sînt legate printr-un culoar comun cu un „turn de localizare a avariilor" care are scopul de a menține etanșeitatea integrală a clădirii reactoarelor în caz de avarie în circuitul primar.

Apa de circulație a reactoarelor VVER-440 care trece în zona activă a reactoarelor îndeplinește trei funcții: răcire, moderare și reflectare.

Zona activă a reactorului, avînd 3 m diametru și 2,5 m înălțime, este închisă într-o cuvă de oțel de 4,3 m diametru și 11,8 m înălțime, cu masa de 252 tone. Ea cuprinde 349 fascicole de combustibil cu secțiune hexagonală, avînd fiecare 126 creioane combustibile. Există 37 bare de reglaj la 349 fascicole. Pastilele de combustibil sînt alcătuie din 235 U_{20} îmbogățit cu U235, pentru obținerea unei valori medii de 3,6% a gradului de îmbogățire.

Reîncărcarea cu combustibil, la oprirea reactorului, se realizează cu o mașină telecomandată, de regulă pentru 1/3 din încărcătura de combustibil.

Sistemul de securitate are trei niveluri: nivelul I asigură securitatea exploatării și răspunde incidentelor de exploatare a reactoarelor; nivelul II asigură securitatea personalului și populației învecinate, în caz de accident (circuite și echipamente de securitate de nivel 2); nivelul III trebuie să facă față defecțiunilor cumulate (datorate personalului de exploatare și circuitelor de securitate, în momentele critice) și comportă circuite de securitate suplimentare care limitează consecințele decțiunilor cumulate.

Nivelul de securitate cerut a fost realizat prin următoarele prevederi:

— triplă barieră contra difuziei eventuale a produselor de fisiune radioactivă;

— teci etanșe din zircaloy pentru creioanele combustibile;

— cuve de protecție din oțel inoxidabil în circuitul nuclear generator de abur;

— cheson etanș din beton armat, constituind scut biologic pentru circuitul nuclear, generator de abur;

— control automat continuu al caracteristicilor de funcționare, permițînd oprirea automată a reactorului în cazul depășirii valorii admisibile a unora dintre parametrii esențiali pentru securitatea personalului și mediului înconjurător;

— echiparea tuturor instalațiilor cu circuite de control dozimetric, pentru determinarea gradului de iradiere a personalului și împrejmuirilor centralei;

— grijă deosebită la realizarea tuturor echipamentelor și instalațiilor esențiale pentru siguranța în funcționare ca „insulă nucleară";

— grijă deosebită privind selecția și formarea personalului de exploatare.

Printre măsurile de protecție a personalului și populației se menționează:

— definirea zonelor în incinta centralei;

— zona de securitate în jurul incintei centralei;

— controlul mediului.

Terenul centralei este, astfel, împărțit în zone „contaminate" și „curate" după cum, în cadrul lor, personalul de exploatare este sau nu în contact cu sursele de radiații ionizante.

„Zona de excludere", amenajată conform recomandărilor AEIA, este de forma unui cerc în jurul reactorului, cu o rază de 1,8 km, în care nu se permite locuirea permanentă a oamenilor.

Controlul mediului (măsurători meteorologice, dozimetrice și radiometrice) acoperă o zonă cu o rază de 20 km în jurul centralei.

Un turn radiometric, înalt de 205 m și un centru de măsurători ale mediului radioactiv au fost executate și funcționează cu un avans de 4 ani, înaintea PIF, pentru a se dispune de date de referință în cursul exploatării.

* * *

Primim din partea SOCIETĂȚII INGINERILOR ENERGETICIENI DIN ROMÂNIA următoarea comunicare:

În ziua de 25 aprilie 1990 a avut loc la București adunarea de constituire a Societății Inginerilor Energeticieni din România — S.I.E.R.

Au participat delegații cercurilor și filialelor SIER constituite în întreprinderile de producere și transport ale energiei electrice, în întreprinderi industriale, institute de cercetare, proiectare și învățămînt și alte unități de profil.

Cu această ocazie s-a ales consiliul de conducere provizoriu al Societății Inginerilor Energeticieni din România și s-au stabilit direcțiile viitoare de activități.

Societatea Inginerilor Energeticieni din România — SIER este o organizație profesională, autonomă, neguvernamentală, apolitică, cu personalitate juridică.

Scopul Societății este de a contribui activ la creșterea rolului și eficienței activității inginerilor energeticieni în vederea dezvoltării energeticii românești în scopul asigurării dezvoltării economiei naționale.

Societatea va apăra interesele profesionale și sociale ale membrilor săi, va contribui la întărirea autorității profesionale și prestigiului social al acestora în vederea recunoașterii rolului lui important în întreaga activitate economico-socială.

Principalele direcții de preocupări ale Societății Inginerilor Energeticieni din România sînt:

1. Politica energetică a României în următoarele decenii
2. Energia și protecția mediului înconjurător
3. Energii convenționale (tehnologii perfecționate)
4. Energiile regenerabile
5. Energetica nucleară
6. Conservarea energiei (economia de energie)
7. Echipamente și instalații energetice
8. Calitate — fiabilitate — securitate în energetică
9. Menagement energetic: conducere, analize, organizare, stimulente economice, tarife
10. Energetica și informatica (dispecerizare, teleconducere, telegestiune etc.)
11. Învățămîntul energetic: concepții și tehnologii noi (structură, promovarea valorii, simulatoare, informatizare etc.)
12. Legislația energetică: poziția inginerului în structura organizatorică și de salarizare a sistemului energetic, structurarea energeticii pe baze economice — analize economice etc.
13. Cooperarea energetică internațională (interconexiuni rețele electrice, gaze, import-export energie, activități tehnico-științifice, schimb de informații, documentații de specialiști și participanți la manifestările științifice)

Sediul provizoriu al Societății Inginerilor Energeticieni din România este în localul Institutului de Studii și Proiectări Energetice din București, B-dul Lacul Tei nr. 1—3, telefon 10.34.80, telex 10978.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА НА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

АЛЕКСАНДРУ ФЛОРЕСКУ, КРИСТИНА ПАВЕЛЕСКУ, МОНА АНДРИЧ: Рекуперация тепла газов сгорания теплоплавильных печей Румынии 97—99

АУРЕЛ ГАБА: Соображения, касающиеся рекуперации физического тепла газов сгорания, выделяемых из глубоких печей 100—102

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

МАНФРЕД ШТЕЙН, МИРЧА ЧИОБАНУ, ХРИСТИАНА БЭРБУЛЕСКУ: Соображения, касающиеся влияния надежности выключателей на качественные показатели схем подстанций по сбрасыванию мощности из станций большой мощности 103—106

МИРЧА ЕРЕМИЯ: Электропередачи постоянного тока. Технико-экономическое сравнение с электропередачами переменного тока 107—114

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

ЭУДЖЕН ПОТОЛЕА: Постоянный режим синхронной машины с насыщенными магнитными контурами 115—118

КОРНЕЛИУ ВЕЛИЧЕСКУ: Вероятностные модели для оценки непрерывности в снабжении электроэнергией 118—124

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МАРИО ДУМА: Определяющие проблемы будущей теплоэнергетики Румынии 125—130

НИКОЛАЕ БЭРАН, ГЕОРГЕ БЭРАН: Новые решения для обеспыливающих устройств дробильных установок угля теплоэлектростанций 131—134

ГЕОРГЕ КАРАБОГДАН, МИХАЙ-МАРИУС ВОРОНКА, КОНСТАНТИН БРЭТИАНУ: Числовой анализ конечными элементами поведения теплообменника в тепловом переходном режиме. 135—138

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ГЕОРГЕ ОЛАРУ, ПЕТРУ ДАН ЛАЗЭР: Относительно сооружения энергетических дамб в Черном Море 139—142

АУРЕЛ СТЭНУКЭ, КОНСТАНТИН ТАРХОН, ДАН АНДРЕЙ: Проектирование в гидроэнергетике в свете актуальных запросов народного хозяйства 142—147

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ИОАН ФЕЛЯ: Оценка потерь мощности и энергии в условиях работы трансформаторов при отклонении эффективной частоты и напряжения питания по сравнению с номинальными значениями (с представлением на английском языке) 148—156

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ

ГЕОРГЕ КЕРЧА, РАДУ БЭКАНУ: Статистические формулы для определения состава летучих материалов, выделяемых при нагреве угля 157—160

НОВЫЕ ИДЕИ

КОНСТАНТИН И. МОКАНУ: Релятивистское расширение теории Герца 161—176

ПАУЛ КАРТИАНУ: Эволюция разработки в физике пространства-вакуума 176—177

НОВОСТИ

ИЗОБРЕТЕНИЯ — НОВАТОРСТВА 178—179

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 147, 156, 180—184

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

ALEXANDRU FLORESCU, CRISTINA PAVELESCU, MONA ANDRICI: Wärmerückgewinnung aus den Abgasen der Glasschmelzöfen 97—99

AUREL GABA: Betrachtungen zur Rückgewinnung der physikalischen Wärme der Abgase aus den Tieföfen 100—102

DIE ENTWICKLUNG DER ENERGIESYSTEME

MANFRED STEIN, MIRCEA CIOBANU, CHRISTIANA BĂRBULESCU: Betrachtungen zum Einfluss der Zuverlässigkeit der Schalter auf die Leistung der Kraftentnahmeschemata aus Hochleistungskraftwerken 103—106

MIRCEA EREMIA: Gleichstromverbindungen. Wirtschaftlich-technischer Vergleich mit der Gleichstromübertragung 107—114

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER ENERGIESYSTEME

EUGEN POTOLEA: Das Dauerregime der Synchronmaschine mit gesättigten magnetischen Kreisläufen 115—118

CORNELIU VELICESCU: Probabilistische Modelle zur Kontinuitätsabschätzung in der Elektroenergiezufuhr 118—124

WARMEKRAFTWERKE

MARIO DUMA: Kennzeichnende Probleme für die Zukunft der Thermoenergiewirtschaft Rumäniens 125—130

NICOLAE BĂRAN, GHEORGHE BĂRAN : Neue Lösungen für die Entstauber der Kohlemahlangen der Wärmekraftwerke 131—134

GHEORGHE CARABOGDAN, MIHAI-MARIUS VORONCA, CONSTANTIN BRĂTIANU : Die numerische Analyse mit finiten Elementen des Verhaltens eines Wärmeaustauschers während eines transitorischen Wärmeregimes 135—138

WASSERKRAFTWERKE

GHEORGHE OLARU, PETRU DAN LAZĂR : Beiträge zur Errichtung von Energiedämmen an den Küsten Rumäniens 139—142

AUREL STĂNUCĂ, CONSTANTIN TARHON, DAN ANDREI : Projektierung in der Hydroenergie wirtschaft im Lichte der aktuellen Bedürfnissen der Volkswirtschaft 142—147

ELEKTRISCHE NETZE

IOAN FELEA : Einschätzung der Leistungs— und Energieverluste während des Betriebes der Trafos bei Abweichungen der effektiven Speisefrequenz — und spannung von den Nennwerten (*mit einer Kurzfassung in Englisch*) 148—156

CHEMISCHE TECHNOLOGIEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT. UMWELTSCHUTZ

GEORGE CHERCEA, RADU BĂCANU : Statistische Formeln zur Bestimmung der Zusammensetzung der durch Kohleverbrennung freigesetzten flüchtigen Bestandteilen 157—160

NEUE IDEEN

CONSTANTIN I. MOCANU : Relativistische Ausdehnung der Hertz—Theorie 161—176

PAUL CARTIANU : Die Entwicklung des Begriffes Raum-Vakuum in der Physik 176—177

NEUIGKEITEN

ERFINDUNGEN-NEUERUGEN 177—179

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 147, 156 180—184

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

ALEXANDRU FLORESCU, CRISTINA PAVELESCU, MONA ANDRICI : La récupération de la chaleur des fumées pour la fusion du verre 97—99

AUREL GABA : Considérations sur la récupération de la chaleur physique des fumées évacuées par les fours du type „pits" 100—102

DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

MANFRED STEIN, MIRCEA CIOBANU, CHRISTIANA BĂRBULESCU : Considérations sur l'influence de la fiabilité des disjoncteurs sur les performances des schémas des postes associés aux grandes centrales électriques 103—106

MIRCEA EREMIA : Les liaisons en courant continu. Comparaison technico-économique avec les systèmes de transport en courant alternatif 107—114

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

EUGEN POTOLEA : Le régime permanent de la machine synchrone à circuits magnétiques saturés 115—118

CORNELIU VELICESCU : Méthodes probalistes pour estimer la continuité de l'alimentation en énergie électrique 118—124

CENTRALES THERMIQUES

MARIO DUMA : Les problèmes déterminants de l'avenir de la thermoénergétique de la Roumanie 125—130

NICOLAE BĂRAN, GHEORGHE BĂRAN : Solutions nouvelles pour les installations de dépoussièrage des stations de concassage du charbon utilisé dans les centrales thermiques 131—134

GHEORGHE CARABOGDAN, MIHAI-MARIUS VORONCA, CONSTANTIN BRĂTIANU : L'analyse numérique à éléments finis du comportement d'un échangeur de chaleur en régime thermique transitoire 135—138

CENTRALES HYDRAULIQUES

GHEORGHE OLARU, PETRU DAN LAZĂR : Contributions concernant l'implentation des barrages énergétiques au large de la Mer Noire 139—142

AUREL STĂNUCĂ, CONSTANTIN TARHON, DAN ANDREI : Les projets dans le domaine hydroénergétique en tenant compte des besoins actuels de l'économie nationale 142—147

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

IOAN FELEA : Estimation des pertes de puissance et d'énergie lors du fonctionnement des transformateurs en présence des déviations de fréquence et tension effective d'alimentation par rapport aux valeurs nominales (avec résumé en anglais) 148—156

TECHNOLOGIES CHIMIQUES. COMBAT CONTRE LA POLLUTION

GEORGE CHERCEA, RADU BĂCANU : Formules statistiques pour déterminer la composition des matières volatiles dégagées pendant le chauffage des charbons 157—160

IDÉES NOUVELLS

CONSTANTIN I. MOCANU : L'extension relativiste de la théorie de Hertz 161—176

PAUL CARTIANU : L'évolution du concept espace-vide en physique 176—177

NOUVEAUTÉS

INVENTION-INNOVATIONS 178—179

L'ENERGIE DANS LE MONDE 117, 156, 180—184

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

ALEXANDRU FLORESCU, CRISTINA PAVELESCU, MONA ANDRICI : Burnt Gases Heat Recovery from Glass Melting Ovens 97—99

AUREL GABA : Consideraions About Physical Heat Recovery from Burnt Gases Disposed of Pit Ovens 100—102

ENERGY SYSTEMS DEVELOPMENT

MANFRED STEIN, MIRCEA CIOBANU, CHRISTIANA BĂRBULESCU : Considerations on Circuit Breakers Reliability Influence on Performances of Substations Schemes of High Power Plants 103—106

MIRCEA EREMIA : Direct Current Links. Technico-economic Comparison With the AC Transmission 107—114

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

EUGEN POTOLEA : Permanent Regime of the Saturated Magnetic Circuits Synchronous Machine 115—118

CORNELIU VELICESCU : Probabilistical Models for Appreciating Power Supply Continuity 118—124

THERMAL POWER PLANTS

MARIO DUMA : Decisive Issues on the Prospects of Romania's Thermal Power Engineering 125—130

NICOLAE BĂRAN, GHEORGHE BĂRAN : New Solutions for Dust Separator Devices of Thermal Power Plants Coal Crushing Installations 131—134

GHEORGHE CARABOGDAN, MIHAI-MARIUS VORONCA, CONSTANTIN BRĂTIANU : Numerical Analysis with Finite Elements of Heat Exchanger Behaviour During Transient Thermal Regimes 135—138

HYDROELECTRIC POWER PLANTS

GHEORGHE OLARU, PETRU DAN LAZĂR : Contributions to Implementing Offshore Power Dams in Romania 139—142

AUREL STĂNUCĂ, CONSTANTIN TARHON, DAN ANDREI : Design in Hydropower — Requirements Under Present Economy Trends 142—147

ELECTRIC NETWORKS

IOAN FELEA : Power and Energy Losses Evaluation During Transformer Operation in the Presence of the Frequency and Voltage Deviations Versus Rated Values (*with a short presentation in English*) 148—156

CHEMICAL TECHNOLOGIES IN ENERGY. ENVIRONMENTAL PROTECTION

GEORGE CHERCEA, RADU BĂCANU : Statistical Formulae for the Determination of Volatiles Emission Composition During Coal Heating 157—160

NEW IDEAS

CONSTANTIN I. MOCANU : Relativistic Extensions of Hertz's Theory 161—176

PAUL CARTIANU : Evolution of the Concept Space-Vacuum in Physics 176—177

NEWS

INVENTIONS—INNOVATIONS 178—179

ENERGY WORLDWIDE 117, 156, 180—184

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor șef : **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori șefi adjuncți : **dr. ing. Radu Enache, dr. ing. Cezar Ioneseu**

Secretar de redacție : **dr. ing. Teodor Popa**

Reprezentantul ministrului energiei electrice : **ing. Radu Opincaru**

Orientări în energetică. Economia energetică : **dr. ing. Mario Duma, ing. Anton Vlădescu**

Energetica în unități economice : **ing. Alexandru Floreseu, dr. ing. Adrian Badea**

Dezvoltarea sistemului electroenergetic : **dr.ing. George Manolescu, dr. ing. Andrei Cristovici**

Conducerea și automatica sistemului energetic : **ing. Iuliu Blechtal, dr. ing. Marius Pomârleanu**

Centrale termoelectrice : **dr. ing. Costin Moțoiu, dr. ing. Dan Goliciu**

Centrale hidroelectrice : **dr. ing. Valeriu Nistreanu, dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice :e **ing. Gabriel Romașcu, ing. Alexandru Mihăilă, dr. ing. Alecu Marian**

Rețele electrice : **ing. Dinu Voinea, dr. ing. Laurențiu Goia**

Alimentare cu căldură : **dr. ing. Victor Athanasoviei, ing. Nicolae Niculescu**

Surse noi de energie : **ing. Constantin Popescu, ing. Gheorghe Voicu**

Chimia în energetică : **dr. chim. Maria Maftei, chim. Mihai Chirica**

Protecția mediului : **ing. Margarios Salgian, ing. Cornel Moțiu**

Organizarea producției și a muncii : **ing. Miron Popescu**

Terminologia în energetică : **dr. ing. Iosif Cserveny**

Istoria electrificării : **ing. Paul Cartianu**

Noutăți : **ing. Paul Rașcu, dr. ing. Virgil Mușatescu, ing. Anton Roșu**

Centre universitare :

Iași : **prof. dr. ing. Alexandru Poeată, prof. dr. ing. Dumitru Ivas**

Timișoara : **prof. dr. ing. Iuliu Heinrich, prof. dr. ing. Viorel Negru**

Redactor : **Ana Maria Chivu**

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — Banca Română, fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament : 144 lei anual ; costul unui exemplar : 12 lei.

Redacția și administrația : București 79619, ICEMENERG, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3, telefon : 20.67.30, 21. 46.30

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

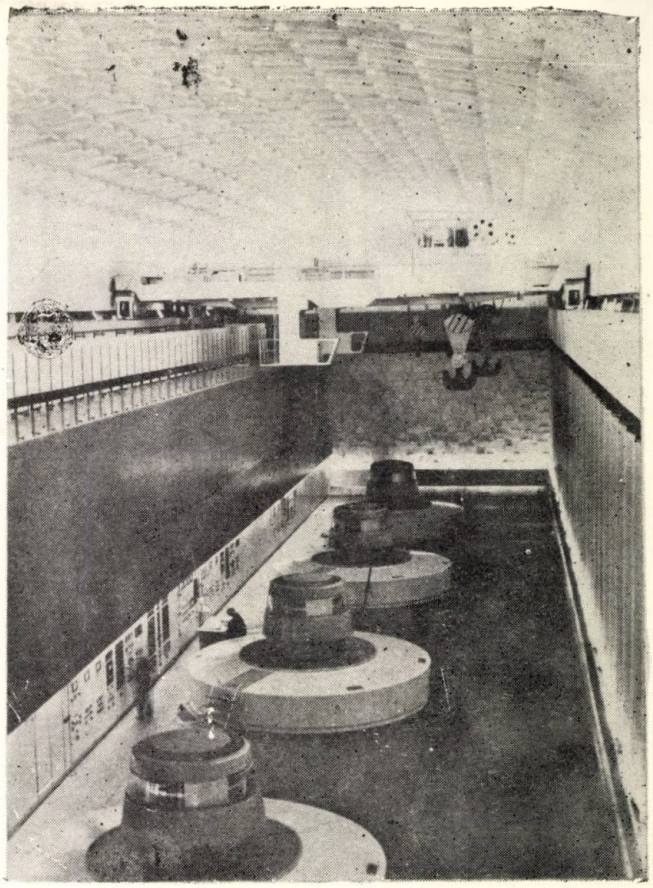
- **The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review „Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review „Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review „Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy of other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the wordwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică
„Universul", București,
str. Brezoianu 23—25 c. 2047

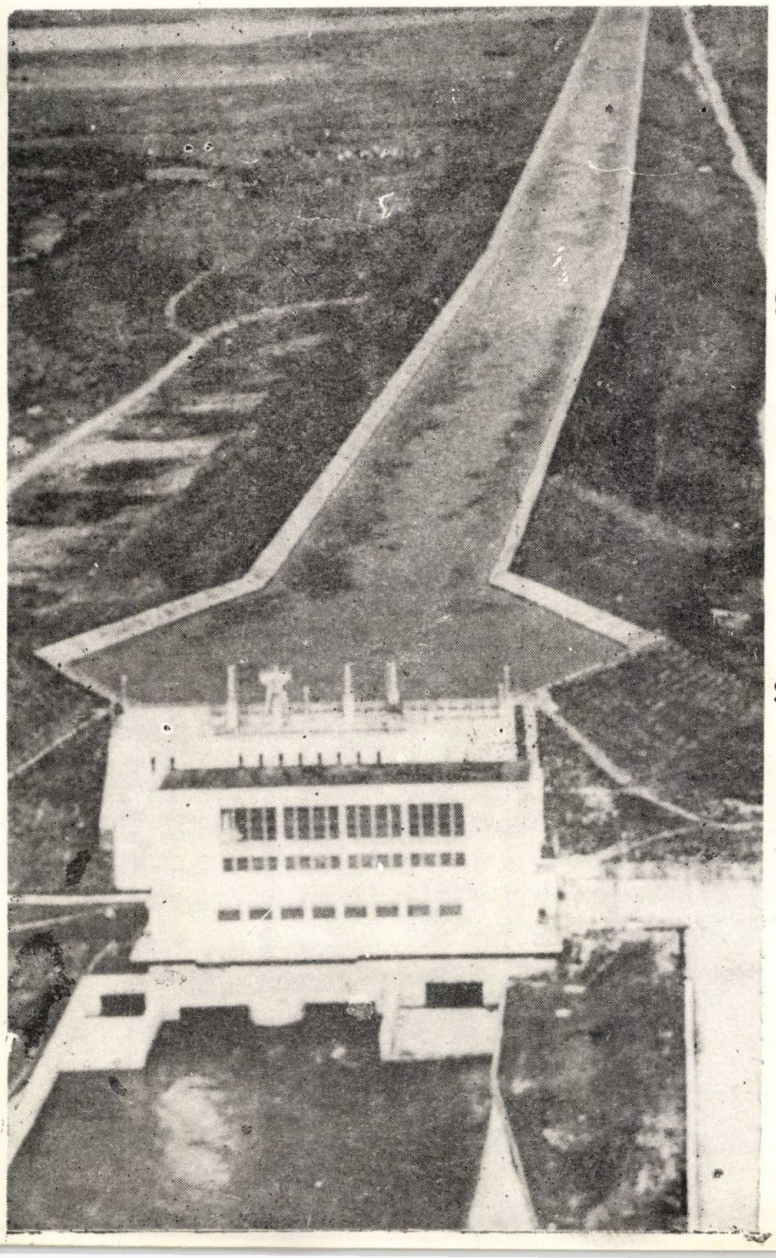
I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI

PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :



RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

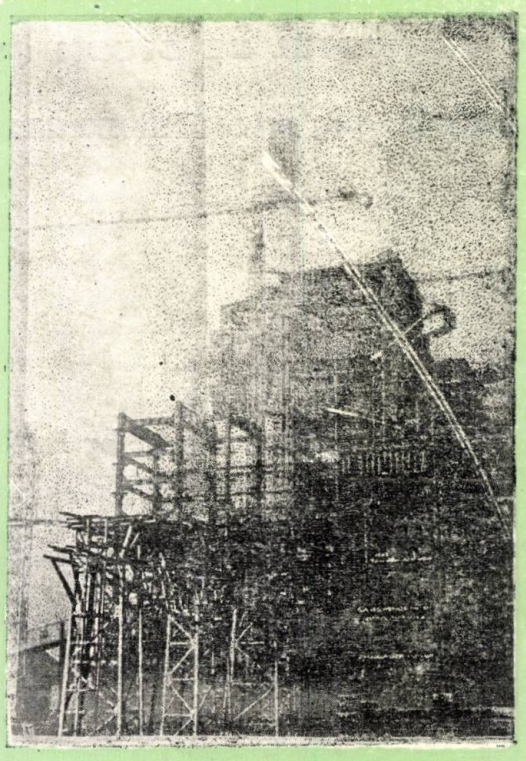
TRUSTUL energoconstrucția

T.A.G. ENERGOCONSTRUCTIA, dispunînd de o dotare tehnică modernă şi de un important efectiv de muncitori de înaltă calificare, tehnicieni şi ingineri, realizează :

LUCRARI DE CONSTRUCTII SI DE INSTALATII aferente termocentralelor electrice şi de termoficare de mare şi foarte mare putere funcţionînd pe cărbune, gaze, păcură, şisturi etc.

LUCRARI DE TEHNICITATE DEOSEBITA CA :

. magistrale şi reţele de termoficare pentru alimentarea marilor centre industriale şi urbane ;
turnuri de răcire de mare capacitate cu tiraj natural sau forţat (Q = 42.000 mc/h) ;
coşuri de fum de mare înălţime (H = 280 m) ;
fundaţii speciale pentru maşini şi utilaje în termocentrale ;
staţii de transformare de 400, 200 şi 110 kV.



- Lucrări de construcţii şi instalaţii pentru REPARATII CAPITALE şi MODERNIZARI la toate obiectele aferente termocentralelor şi reţelelor de termoficare.

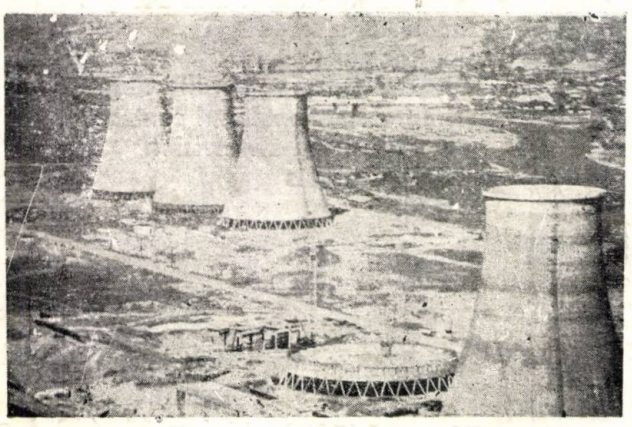
★ ★ ★

-LUCRARI HIDROTEHNICE AFERENTE TERMOCENTRALELOR :

- baraje de diferite tipuri, regularizări de rîuri ;
- prize decantoare şi staţii de pompe pentru debite importante ;
- canale şi conducte de apă caldă şi rece în soluţii constructive variate.

1991 JAN 03

★ ★ ★ ★



T.A.G. "ENERGOCONSTRUCTIA' A REALIZAT IN SIRIA TURNURI DE RACIRE SI COSURI DE FUM LA RAFINARIA DIN BANYAS SI LA FABRICA DE CIMENT DIN ALEPPO.

T. A. G. "ENERGOCONSTRUCTIA"
Calea Dorobanţilor nr. 103 - 105
Sector 1 - Bucureşti
Telefon 79.60.20 - telex 10179

E 2039

MW

5

REFERÁLVA

R 1991 -01- 02

EME

Cuprins

ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

EMIL COSTIN: **Evoluția sistemului de tarife pentru energia electrică în România, în anii 1950 — 1990** 189 — 195

DEZVOLTAREA SISTEMULUI ENERGETIC

ANCA POPESCU, MIRCEA CIOBANU, DOINA POPOVICI, GHEORGHE VÂLCEREANU, FLOAREA BREAZU: **Sensibilitatea nivelurilor optime ale rezervei de avarie și gradului de siguranță ale unui sistem electroenergetic la variația parametrilor care le influențează** 196 — 203

REȚELE ELECTRICE

GHEORGHE NICOLAU: **Model matematic, algoritm și program de calcul mecanic al conductoarelor liniilor electrice aeriene** 204 — 210

IOAN FELEA, TEODOR MAGHIAR, DAN CARȚIȘ, FLORIAN DEMIAN, NICOLAE DRĂGHICI: **Aplicarea contactoarelor statice în cadrul sistemelor de compensare a factorului de putere cu condensatoare** 210 — 217

LAURENȚIU MIRON GOIA, CONSTANTIN PANTĂZI: **Noi dispozitive de electrosecuritate realizate în ICEMENERG** 218 — 222

SURSE NOI DE ENERGIE

STOIAN PETRESCU, MONICA COSTEA, ROXANA IORDACHE: **Comparație între ciclul Brayton realizat cu mașini cu piston și ciclul ITG de ardere la volum constant în vederea folosirii în energetica solară** 223—228

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

EUGENIU PAVEL: **Jean-Baptiste Fourier și seriile Fourier** 229 — 231

PAUL CARTIANU: **50 de ani de la descoperirea fisiunii nucleare** 231 — 233

NOUTĂȚI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 203, 234 — 236

DE PERSONIS 228, 237

energetica

VOLUMUL XXXVIII

BUCUREȘTI

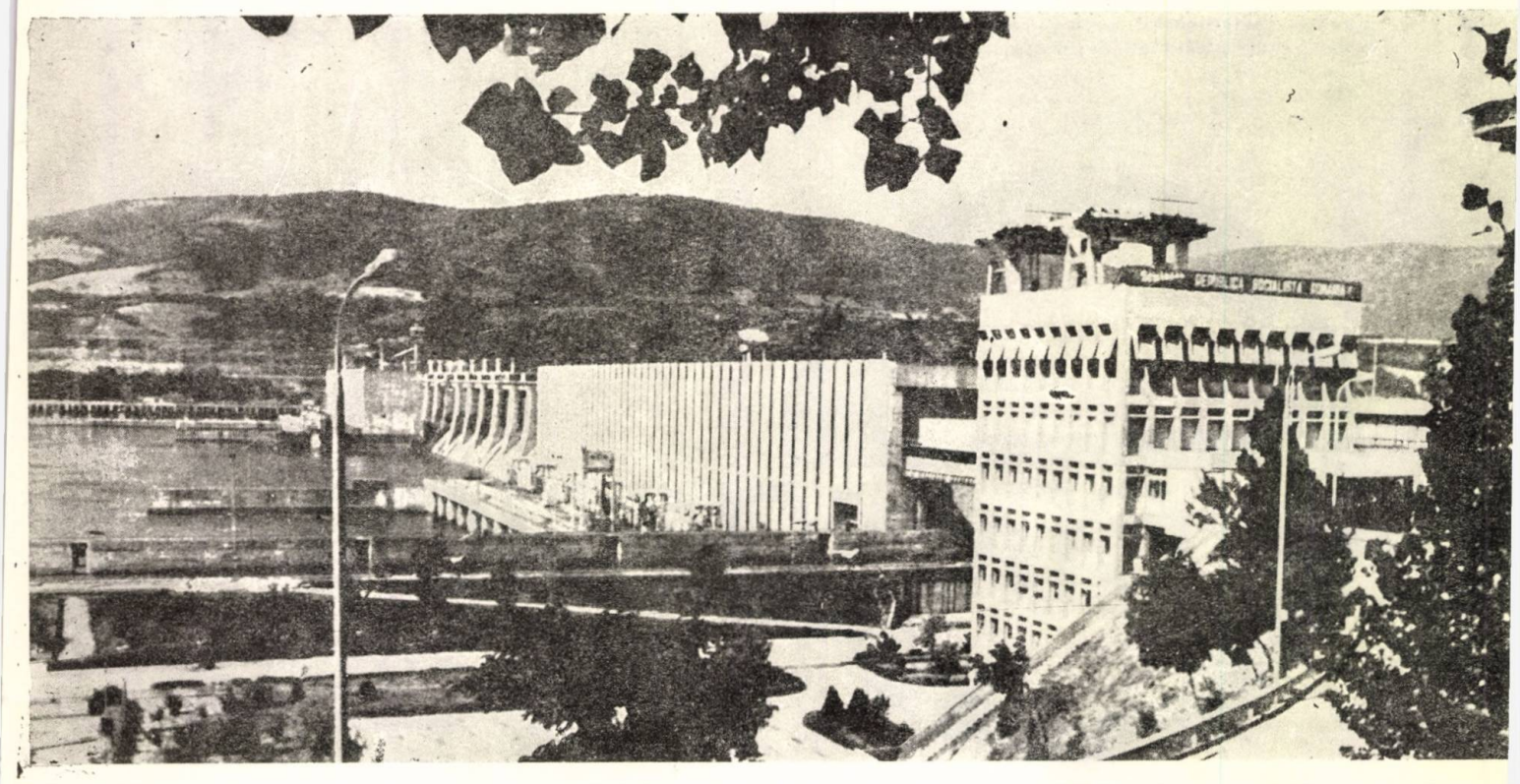
MAI 1990

TAGCH

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1 COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în ţară şi în străinătate amenajări hidroenergetice (baraje, tuneluri, centrale hidroelectrice) şi lucrări hidrotehnice complexe



1991 JAN 2 3

ENERGETICA
REVISTĂ DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

Anul 38 Nr. 5 Mai 1990

Orientări în energetică

Evoluția sistemului de tarife pentru energia electrică în România, în anii 1950-1990

Dr. ing. EMIL COSTIN *

Descriptori: energie electrică, tarife, istoric, categorii de consum, tranșe tarifare

Este prezentat istoricul evoluției concepției tarifelor energie electrică în România, în perioada 1950—1990, cu evidențierea principalelor idei care au fundamentat opțiunile privind diferitele sisteme de tarife aplicate. De asemenea, se prezintă evoluția principalilor parametrii ai tarifelor aplicate, precum și etapele în care au avut loc modificările descrise.

The paper reports on the evolution of the power tariff conception in Romania, during the period 1950—1990. Special emphasis is laid upon the main ideas which substantia the options regarding the different tariff systems put into practice. The evolution of the main parameters of the tariff in force is also dealt with along with the stages within the described modifications occured.

În urma naționalizării mijloacelor de producție industrială în România, petrecută la 11 iunie 1948, instalațiile de producere, transport, distribuție a energiei electrice care, de regulă, aparțineau anterior diferitelor societăți particulare, au trecut în patrimoniul statului.

Sistemele tarifare practicate pe teritoriul țării erau în această etapă foarte diverse, fiecare societate locală orientîndu-se după anumite interese locale, după tradiție etc.

Pentru a se pune ordine în această situație, după înființarea Ministerului Energiei Electrice și Industriei Electrotehnice s-a trecut, în 1950, la stabilirea unui sistem general de clasificare a consumatorilor, sistem ce prevedea următoarele categorii:

— iluminat general;
— iluminat și utilizări casnice;
— iluminat public;
— forță motrică;
— forță motrică, mari consumatori;
— revînzători.

Totodată, s-a recomandat unificarea tipurilor de tarife utilizate, chiar în condiții de diferențiere a valorilor absolute ale acestora. Valorile absolute urmau a fi stabilite ținînd seama de acoperirea prețurilor de cost pe fiecare întreprindere în parte.

În acest mod, în anul 1950, s-a reușit să se sistematizeze situația micilor consumatori, care reprezentau circa 99% ca număr și circa 20% din consumul total de energie; situația marilor consumatori a rămas aceeași ca și anterior.

Perioada 1950—1953 a fost o perioadă de tranziție și de reorganizări, abia după iulie 1953, odată cu înființarea întreprinderilor teritoriale — energotrusturi și energocombinate — s-au creat premisele sistematizării tarifare mai avansate. Din această perioadă a început cristalizarea unei concepții coerente, unitare, științifice, privind tarifarea consumatorilor în România, concepție care a stat în continuare la baza diferitelor sisteme tarifare utilizate. Scopurile urmărite prin aplicarea acestei concepții generale, în condițiile în care România dispunea de resurse energetice neutilizate și pe plan mondial energia era foarte ieftină, erau în esență de natură economică, dar și socială;

— raționalizarea consumului marilor consumatori prin aplatisarea curbelor de sarcină și reducerea astfel a volumului de investiții necesare în instalații de noi centrale electrice și rețele;

— furnizarea de facilități economice pentru stimularea creșterii consumului în perioadele de gol de sarcină în scopul unei mai intense — și deci mai eficiente — utilizări a instalațiilor electroenergetice existente;

— stimularea dezvoltării consumului populației, rămas mult în urmă față de alte țări și față de cerințele unui nivel corespunzător de civilizație, prin reducerea prețurilor pînă la un nivel care să asigure acoperirea costurilor de producție. În concordanță cu acest princi-

* Dr. ing. Emil Costin — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

piu au fost mai tîrziu adoptate pentru populație tarife cu tranșe degresive, care luau în considerație reducerea prețului de cost specific (lei/kW) odată cu creșterea consumului total, obținută prin intensificarea utilizării instalațiilor pe seama reducerii ponderii cheltuielilor convențional constante în suma totală de plată.

Aceste principii au rămas valabile o perioadă relativ îndelungată, pînă ce au apărut modificări în premisele globale ale acoperirii cu energie a necesităților. După 1970, România a devenit energetic deficitară, tributară importului de resurse energetice, într-un moment în care a apărut pe plan mondial creșterea rapidă a costurilor energetice.

Schimbarea acestor premise a impus și modificări în concepțiile tarifare; s-a accentuat tendința către economisirea energiei, odată cu creșterea importantă a ponderii cheltuielilor cu energia (cheltuieli convențional variabile) în totalul cheltuielilor pentru energia electrică. Astfel, s-a redus semnificația economică a tarifelor de tip degresiv, care au fost înlocuite cu altele progresive, prevăzute să stimuleze în mod special restrîngerea consumurilor suplimentare. Totodată, legat și de evoluția precedentă a consumurilor, a slăbit justificarea unor tarife reduse de noapte, menținîndu-se numai tendința de a cointeresa consumatorii în micșorarea apelului de electricitate din tipul vîrfului.

* * *

În octombrie 1953, în scopul ușurării accesului populației la energia electrică, tariful pentru iluminat și utilizări casnice a fost redus cu circa 30%, stabilindu-se un preț unic pe țară de 0,60 lei/kWh.

Începînd de la 1 ianuarie 1955, au fost aprobate prin Hotărîrea Consiliului de Miniștri (HCM 188/1955) noi tarife pentru energie electrică, extinzîndu-se unificarea tarifelor asupra mai multor categorii de consumatori. În acest mod devin unice tarifele pentru iluminat și utilizări casnice, iluminat public, iluminat general, utilizări de forță în agricultură și revînzători.

Pentru utilizări de forță motrică la mici consumatori, au fost prevăzute tarife monome, iar pentru marii consumatori au fost prevăzute tarife binome, în funcție fie de puterea maximă absorbită, fie de puterea racordată (kVA); valorile acestor tarife diferă pentru fiecare energotrust și energocombinat. În raport cu prețurile practicate la Energotrustul nr. 1, prețurile la celelalte unități au variat astfel:

— pentru taxa de putere între 132—195%;

— pentru taxa de energie între 108—131%.

În scopul stimulării raționalizării consumului noile tarife prevăd reduceri de 50% ale taxei fixe de putere la consumatorii numai de noapte, precum și la acei consumatori care reduc puterea absorbită în timpul orelor de vîrf sub 50% din puterea absorbită în schimbul 1.

Prin același sistem tarifar se modifică modul de tarifare al energiei reactive. De unde pînă la 31 decembrie 1954 energia reactivă se tarifa cu 0,075 lei/kvarh pentru kvarh ce depășesc lunar numărul de kWh din luna respectivă (ceea ce corespunde unui cos $\varphi = 0{,}7$), HCM 188/1955 prevede aplicarea de majorări, respectiv de bonificări la plata energiei electrice active acelor consumatori ce absorb energia sub un factor de putere mediu lunar diferit de valoarea cos $\varphi = 0{,}75$.

Sistemul tarifar astfel descris a rămas valabil în liniile sale principale pînă în anul 1962 (HCM 1279/1962), cînd — odată cu lucrările de reașezare a cheltuielilor de producție în întreaga economie — s-a introdus și un nou sistem de tarife pentru energia electrică, de astă dată unic pe întreaga țară.

Potrivit acestui sistem nou, tuturor consumatorilor, cu excepția marilor consumatori industriali și revînzătorilor cu puteri racordate peste 1000 kVA li se aplică tarife monome. Pentru iluminat și utilizări casnice s-a introdus încă de la 15 august 1962 un tarif monom cu două tranșe tarifare în funcție de numărul de camere ale abonatului; pentru micii consumatori de forță și pentru consumatorii din ramura foraj-extracție petrol se introduc tarife diferențiate după orele zilei (în perioada vîrfului de sarcină pe sistem și în afara acestuia).

În scopul stimulării raționalizării anumitor consumuri casnice, a fost introdus și un tarif pentru consum de noapte (22 —6), aplicabil consumatorilor ce dispun de aparate pentru încălzirea apei cu capacitatea de minimum 20 litri.

În același scop, a fost prevăzut, de asemenea, un tarif de noapte pentru utilizările de forță în agricultură.

Tarifele binome aplicate marilor (peste 50 kW maximum sau 50 kVA racordați) consumatori industriali și revînzătorilor cu P racord > 1000 kVA sînt de data aceasta diferențiate după momentul zilei, atît pentru taxa fixă de putere, cît și pentru prețul energiei.

Acestor consumatori li se acordă în mod suplimentar următoarele reduceri ale taxei fixe:

— dacă reduc în permanență puterea la orele de vîrf ale sistemului sub 50% din cea maximă absorbită, taxa de putere se reduce în luna respectivă cu 50%;

— dacă reduc în permanență puterea în orele de vîrf ale sistemului sub 20% din cea maximă absorbită, taxa de putere se reduce în luna respectivă cu 75%;

— consumatorii sezonieri care absorb energia electrică numai în perioada de vară: 1 aprilie — 1 septembrie beneficiază de reducerea taxei de putere cu 25%.

Unii mari consumatori industriali, în special marile combinate chimice, beneficiază prin acest sistem tarifar de anumite tarife preferenţiale.

De altfel, practica tarifelor preferenţiale pentru consumatorii foarte mari a continuat în întreaga perioadă pînă în 1973; pe măsura apariţiei acestor mari consumatori apăreau şi acte normative care stabileau nivelul tarifului preferenţial ce urma să li se aplice.

În această categorie au intrat astfel şi Combinatul Chimic Craiova, Combinatul de Îngrăşăminte Azotoase de la Piatra Neamţ şi de la Tg. Mureş, Uzina de Aluminiu Slatina, instalaţiile de electrificare a căilor ferate.

Odată cu punerea în aplicare în martie 1969 a prevederilor „Regulamentului pentru furnizarea şi utilizarea energiei electrice" aprobat prin HCM nr. 2763/68, regulament ce cuprinde şi lista tarifelor pentru energie electrică, se poate considera să apare un nou sistem tarifar, care însă nu diferă în principal de cel anterior, diferenţele fiind mai mult completări de amănunt: se introduce un tarif monom pentru magazine comerciale separat de iluminatul general; apare un tarif distinct pentru irigaţii, unul pentru tracţiune electrică feroviară, în acest cadru legal apar pentru prima oară prevederi de tarife pentru import-export de energie electrică.

Sistemul tarifar astfel restructurat rămîne în aplicare pînă la 1 ianuarie 1974, cînd este înlocuit cu un nou sistem apărut ca urmare a acţiunii de reaşezare a preţurilor la energia electrică, incluzînd şi introducerea unor noi elemente în calculul preţului de cost al acesteia.

Cu această ocazie de introduce în calculul costurilor o taxă asupra fondurilor de producţie de 4%, de asemenea, se introduce o taxă asupra terenurilor de 0,5% estimată faţă de preţul de cost planificat al energiei electrice. În schimb, nu se mai ia în considerare impozitul pe circulaţia mărfurilor.

Printre principiile aflate la baza examinărilor privind reaşezarea preţurilor le citäm pe cele mai semnificative:

— asigurarea unei concordanţe maxime posibile între preţul de cost şi preţul de vînzare, renunţarea la orice tarife preferenţiale ce nu se justifică pe considerente economice;

— diferenţierea preţurilor pe categorii de consumatori;

— diferenţierea preţurilor după tensiunea de alimentare;

— reflectarea în preţuri a efectelor economice ale satisfacerii pretenţiilor consumatorilor referitoare la nivelul de siguranţă a alimentării cu energie electrică;

— încurajarea prin preţuri a aplatisării curbelor de consum în perioada de noapte şi în golul de consum din cursul zilei;

— stabilirea de preţuri distincte pentru energie reactivă.

Ca urmare a studiilor efectuate şi a punerii de acord a rezultatelor cu diferitele foruri interesate, a rezultat un sistem tarifar, aprobat prin Decretul Consiliului de Stat nr. 685/1973 şi aplicat începînd de la 1 ianuarie 1974, în care preţurile sînt diferenţiate:

— după nivelul tensiunii de alimentare a consumatorilor (joasă — sub 1 kV, medie — între 1—110 kV şi înaltă — 110 kV şi mai mult);

— după momentul din zi în care are loc consumul (pentru marii consumatori şi pentru consumul de noapte al anumitor consumatori casnici);

— după categoria de consum, pentru un număr redus de categorii de consumatori;

— în joasă tensiune:
  — consum casnic
  — iluminat public
  — iluminat general
  — magazine comerciale
  — utilizări de forţă (mici consumatori)
  — utilizări în agricultură
  — consumatori industriali (mari)
— în medie tensiune:
  — tracţiune electrică urbană şi interurbană
  — utilizări în agricultură
  — mari consumatori
— în înaltă tensiune
  — tracţiune electrică feroviară
  — mari consumatori

Pentru energia reactivă se prevede introducerea unui nou sistem, constînd în perspectivă în perceperea unui preţ pentru fiecare kvarh absorbită de consumatorii de energie electrică al căror factor de putere mediu lunar este mai mic de 0,92. Preţul este diferenţiat pe cele trei niveluri de tensiuni adoptate: înaltă, medie, joasă.

Pentru furnizarea de energie electrică cu siguranţă sporită se prevede obligaţia consumatorilor de a suporta integral atît costul tuturor instalaţiilor suplimentare solicitate, cît şi o cotă anuală de 15% din valoarea acestora, pentru acoperirea cheltuielilor de exploatare şi întreţinere.

Sistemul tarifar mai prevede majorări de tarife pentru depăşirea necesităţilor de putere — energie electrică prevăzute în contracte, precum şi reduceri de tarife pentru consumatorii sezonieri şi consumatorii tampon.

Consumatorii casnici se supun în continuare aceluiaşi tarif, introdus în 1962, cu două tranşe degresive funcţie de anotimp şi numărul de camere.

Sistemul tarifar astfel descris a fost utilizat pînă la 1 ianuarie 1981, cînd i-a fost substituit un sistem sensibil mai simplu, ce va fi descris în continuare. Cu toate acestea, pe parcurs au avut loc două modificări, şi anume:

— începînd de la 1 ianuarie 1977 (decretul nr. 392) au fost înlăturate din structura pre-

Tabelul 1

Tarife pentru consumul casnic de energie electrică în România în perioada 1950—1990

Prețuri în lei/kWh	oct. 1953	15 aug. 1961 1)	1 aug. 1979 2)	1 iul. 1982 3)	1 febr. 1987 4)	11 nov. 1987 4)	12 oct. 1988 4)	1 ian 1990
Tranșa 1	0,60	0,50	0,55	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Tranșa 2	—	0,30	0,65	0,75	1,0	1,0	1,0	—
Tranșa 3	—	—	0,75	0,85	2,0	2,0	1,50	—
Tranșa 4	—	—	0,90	1,0	2,50	3,0	2,0	—
Tranșa 5	—	—	—	—	—	—	2,50	—
Tarif de noapte	—	0,20	—	—	—	—	—	—

Notă.

— Tariful de noapte se acordă numai posesorilor de boiler cu acumulare peste 20 litri.

— deținătorii de mașini de gătit electrice aveau dreptul începînd de la 1 august 1979 la un supliment de consum de 120 kWh/lună, plătibil cu tariful tranșei 1.

1) Tranșa 1—vara 6 kWh/lună și cameră; tranșa 2—iarna 12 kWh/lună și cameră; 2) Pentru mărimea tranșelor, tabel 2. 3) Pentru mărimea tranșelor, tabel 3. 4) Pentru mărimea tranșelor de bază, tabel 4. Pentru mărimea tranșelor suplimentare, tabel 5.

Tabelul 2

Mărimea tranșelor prevăzute în decretul nr. 283/31.07.1989 în kWh/an

Tipul apartamentului (nr. camere)	Tranșa 1		Tranșa 2		Tranșa 3		Tranșa 4	
	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural
	pînă la		între		între		depășire	consum
o cameră	500	350	500—550	350—385	550—600	385—420	600	420
2 camere	750	470	750—825	470—520	825—900	520—570	900	570
3 camere	820	550	820—900	550—605	900—980	605—660	980	660
4 camere	975	650	975—1075	650—715	1075—1175	715—780	1175	780
5 camere	1025	725	1025—1125	725—800	1125—1225	800—875	1225	875

țului de cost taxele asupra fondurilor fixe și asupra terenurilor, astfel că prețurile pentru energia electrică au fost reduse în medie cu 30,7% la toți consumatorii, cu excepția celor casnici;

— începînd de la 1 august 1979, printr-un decret al Consiliului de Stat (nr. 283/1979) referitor la stabilirea unor măsuri pentru gospodărirea judicioasă și reducerea consumului de energie electrică, energie termică și gaze naturale, tariful aplicat pentru consumul casnic se modifică. Se introduce un tarif cu patru tranșe de consum progresive (prețul per kWh al fiecărei tranșe crește față de cel al tranșelor anterioare) aplicate în funcție de numărul camerelor de care dispune abonatul.*)

În tabelul 1 este prezentată evoluția cronologică a prețurilor consumului casnic pe tranșe de consum în perioada 1950—1990, iar în tabelul 2 — mărirea cotelor pentru fiecare din tranșele prevăzute în reglementarea din 1979.

Din acest moment și pînă în prezent au apărut mai multe reglementări ale consumului casnic, așa cum se va vedea în cele ce urmează.

Astfel, la 30.06.1982, prin Decretul nr. 240 se modifică atît prețurile energiei electrice pe tranșe (în sensul majorării cu 0,1 lei/kWh la fiecare tranșă), cît și cantitățile pe tranșe (acestea se reduc). În tabelul 3 se prezintă mărimile cotelor anuale, diferențiate după mărimea locuinței, aplicabile de la 1 iulie 1982, conform Decretului nr. 240/1982.

Prin decretul 27/6 febr. 1987 se modifică din nou prețurile în sensul creșterii și se stabilesc de astă dată cote lunare de consum pe locuință, funcție de mărimea acesteia. Textul decretului prevede aplicarea acestor valori numai pentru două luni: februarie și martie 1987. Decretul următor, nr. 272/10 nov. 1987, prevede micșorarea în continuare a cotelor lunare, care se diferențiază în plus pe perioada: noiembrie—februarie (iarna) și martie — octombrie (vara). Cît privește nivelul prețului, acest decret crește numai prețul ultimei tranșe (marginală) de la 2,50 lei kWh la 3 lei/kWh.

La 12 oct. 1988 apare Decretul 310, care modifică din nou, atît nivelurile de consum (în sensul majorării de astă dată), cît și prețurile energiei pe tranșe.

În sfîrșit, după revoluția din decembrie 1989 apare reglementarea prin care populația plătește (de la 1 ianuarie 1990) prețul unic de 0,65 lei/kWh.

În tabelele 4 și 5 este prezentată variația mărimii tranșelor, conform prevederilor decretelor menționate.

* În acest decret și în cele ce i-au urmat pînă la revoluția din 1989, tranșele erau diferențiate în funcție de tipul apartamentului (componența familiei) afirmație privitoare la componența familiei neavînd în realitate nici o incidență concretă asupra tarifului.

Tabelul 3

Mărimea tranşelor prevăzute în Decretul nr. 240/30.06.1982

Tipul apart. (nr.camere)	Tranşa 1		Tranşa 2		Transa 3		Tranşa 4	
	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural
	pînă la		între		între		depăşire consum de :	
o cameră	450	300	450—500	300—350	500—550	350—400	550	400
2 camere	650	430	650—700	430—480	700—800	480—520	800	520
3 camere	700	500	700—770	500—550	770—840	550—600	840	600
4 camere	850	550	850—950	550—600	950—1035	600—650	1035	650
5 camere	900	600	900—1000	600—665	1000—1100	665—730	1100	730

Tabelul 4

Nivelul de consum pentru tranşa de bază conform decretelor din anii 1987 şi 1988

Tipul apart. (nr. camere)	Decret nr. 27/ /06.02.1987		Decret nr. 272/10.11.198				Decret nr. 310/12.10.1988			
			nov.-febr.		mart.-oct		nov.-febr.		mart-oct.	
	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural
o cameră	30	20	22	15	15	10	27	18,5	19	12
2 camere	43	29	30	20	20	15	35	24	25	18
3 camere	47	33	35	21	25	18	47	26	29	22
4 camere	57	37	42	22	30	20	48	25,5	36	23,5

Tabelul 5

Mărimea tranşelor de consum suplimentare conform decretelor din anii 1987 şi 1988

Valori în % (de depăşire a tranşei de bază)

Specificaţie	Decret nr. 27/06.02.87	Decret nr. 242/10.11.87	Decret nr. 310/12.10.88
Tranşa 2	pînă la 5	pînă la 5	pînă la 10
Tranşa 3	5—10	5—10	10—15
Tranşa 4	peste 10	peste 10	15—20
Tranşa 5	—	—	peste 20

În cursul anului 1980 în cadrul lucrărilor de reaşezare pe economie a preţurilor la combustibili, carburanţi şi lubrefianţi, ce influenţează nemijlocit preţurile pentru energia electrică, au fost examinate posibilităţile de perfecţionare în continuare a sistemului tarifar al energiei electrice (cu excepţia preţurilor pentru consumul casnic, recent revizuite).

Ca urmare a lucrărilor întreprinse şi ţinînd seama atît de rezultatele obţinute anterior, cît şi de disponibilităţile de aparate de măsură adecvate, a fost adoptat un sistem tarifar diferenţiat pe cele trei niveluri de tensiuni, precum urmează :

— pentru marii consumatori, în limita aparatajului de măsură disponibil, tarif binom diferenţiat (cu putere şi energie) pe două zone ale zilei : ore de vîrf şi restul orelor ;

— pentru marii consumatori ce nu dispun de aparataj, tarif monom diferenţiat pe aceleaşi zone din zi ;

— pentru restul consumatorilor, inclusiv tracţiunea electrică, tarif monom simplu.

Tarifarea energiei reactive se menţine în aceleaşi condiţii ca şi în sistemul anterior.

Preţurile astfel stabilite pentru energia electrică au fost în vigoare timp de un an începînd de la 1 ianuarie 1981 (decret 392/80), după care au suferit o majorare cu procent constant în două etape ; la 1 ianuarie 1982 (decret 48/1982) şi la 1 iulie 1982 (decret 232/1982), acest ultim sistem de preţuri este valabil şi în prezent.

În cadrul tabelelor 6—8 se încearcă sintetizarea celor mai semnificative aspecte ale evoluţiei tarifelor în perioada de după 1950. Este prezentată astfel evoluţia categoriilor tarifare de consumatori, evoluţia tarifelor pentru utilizări casnice, a preţurilor utilizate în tarifele de tip monom şi binom, precum şi a preţurilor pentru energia reactivă, în perioada considerată.

* * *

Prezentarea — în cele de mai sus — a modului în care a evoluat concepţia tehnică a tarifării energiei electrice în România în perioada 1950—1990, aduce la lumină numai una din laturile problemei complexe care este tarifarea energiei electrice.

Categorii de consumatori în tarifarea energiei electrice în România *Tabelul 6*

1 ianuarie 1955		1 ianuarie 1962		22 martie 1969		1 ianuarie 1974 (idem, 1 ian 1977)		1 ianuarie 1981	
Categoria	Tarif	Categoria	Tarif	Categoria	Tarif	Categoria	Tarif	Categoria	Tarif
						Joasă tensiune			
Iluminat public	M S	Iluminat public	M S	Iluminat public	M S	Iluminat public	M S	Joasă	
Iluminat general	M S	Iluminat general	M S	Iluminat general	M S			tensiune	MBD
Forță în agricultură	M S	Magazine		Magazine		Iluminat general	M D	Medie tensi-	
		comerciale	M S	comerciale	M S	Magazine		une	MBD
Forță mici	M S*	Forță mici		Utilizări în agri-		comerciale	M D	Înaltă	
consumatori		consumatori	M D	cultură	M D	Forță mici		tensiune	MBD
Forță mari	B S*	Forță în agricultură	MD	Irigații	M S**	consumatori	M D	—	—
consumatori						Utilizări agricole		—	
Revînzători	MBS	Irigații	M S**	Tracțiune		inclusiv irigații	M D		—
				electr. sub 110kV	M S	Mari consuma-		—	
		Tracțiunea urbană				tori industriali	M D		
		și interurbană	M S	Tracțiune					
				electrică 110 kV		**Medie tensiune**			
				și peste	M D				
						Tracțiune			
		Petrol (consum pen-				electrică	M D		
		tru foraj-extracție)	M D	Foraje extracție	M D				
				petrol		Utilizări			
		Revînzători	MBD	Forță mici cons.	M D	agricultură	MBD		
		Mari consumatori		Uz. Alumină		Alți consumatori	MBD		
		industriali	B D	Slatina	M D				
		Consumatori prefe-	B D	Mari consumatori		**Înaltă tensiune**			
		rențiali		industriali	B D	Tracțiune			
				Consumatori		electrică	M D		
				preferențiali	B D	Alți consumatori	MBD		

Notă: — * Diferențiat geografic M-monom S = simplu
** numai în afara vîrfului B-binom D = diferențiat
Tarifele pentru consum casnic sînt prezentate separat

Prețuri (lei/kWh) utilizate în tarife de tip monom în perioada 1950—1990 în România *Tabelul 7*

Categoria de consum	1 ianuarie 1955	1 ianuarie 1962 (12 martie 1969)	1 ianuarie 1974	1 ianuarie 1977	1 ianuarie 1981	1 ianuarie 1982	1 ianuarie 1982	
— Iluminat public (inclusiv întreținerea)	0,90	0,60	0,80	0,55	0,76	—	1,14	—
(exclusiv întreținerea)	—	—	0,54	0,37	0,50	0,56	0,75	—
— Iluminat general (joasă tensiune)	1,10	0,75	0,75	0,52	0,50	0,56	0,75	—
În alternativă:								
— la vîrf	—	—	1,55	1,10	1,10	1,23	1,54	—
— în rest	—	—	0,60	0,40	0,39	0,44	0,59	—
— ziua	—	—	0,85	0,59	—	—	—	—
— noaptea	—	—	0,50	0,35	—	—	—	—
— Iluminat magazine comerciale (joasă tensiune)	—	0,50	0,50	0,35	0,50	0,56	0,75	—
În alternativă:								
— în rest	—	—	0,41	0,28	0,39	0,44	0,59	—
— la vîrf	—	—	1,0	0,70	1,10	1,23	1,54	—
— ziua	—	—	0,57	0,40	—	—	—	—
— noaptea	—	—	0,33	0,23	—	—	—	—
— Utilizări în agricultură*	0,35	—	0,40	0,28	0,50	0,56	0,75	—
În alternativă:								
— ziua	—	0,30	0,46	0,32	—	—	—	—
— noaptea	—	0,20	0,26	0,18	—	—	—	—
— Utilizări forță mici consumatori*	—	0,45	0,45	0,32	0,50	0,56	0,75	—
În alternativă:								
— la vîrf	—	0,80	0,90	0,65	1,10	1,23	1,54	—
— în rest	—	0,40	0,37	0,25	1,10	0,44	0,58	—
— ziua	—	—	0,52	0,36	—	—	—	—
— noaptea	—	—	0,30	0,21	—	—	—	—
— Revînzători**	0,35	0,25	—	—	—	—	—	—
— Irigațiile***	—	0,15	—	—	—	—	—	—
— Tracțiune electrică urbană și interurbană****	—	0,30	0,30	0,21	0,34	0,38	0,51	—
În alternativă:								
— la vîrf	—	—	0,40	0,28	0,75	0,84	1,12	—
— în rest	—	—	0,28	0,19	0,28	0,31	0,41	—

Notă: * După 1 ianuarie 1974 prețurile la joasă tensiune; ** puteri racordate sub 1000 kVA; *** numai pentru consumatori ce nu absorb în timpul vîrfului; **** după 1 ianuarie 1974 prețurile la medie tensiune. — Tarifele din 2 martie 1969 nu diferă valoric de cele din 1 ianuarie 1962.

Tabelul 8

Prețuri utilizate în tarife de tip binom în perioada 1962—1990 în România

Denumirea	UM	1 ianuarie 1962 (idem 1969) tipul tarifului				1 ianuarie 1974						1 ianuarie 1977	
						Joasă tensiune	Medie tensiune			Înaltă tensiun		Joasă tensiune Consum industrial	Consum agricol
		A	B	C	D	Consum industrial	Consum agricol	Alți consumatori		Mari consumatori industriali			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Putere la vîrf	lei/kWan	1092	840	960	816*	1440 (1140)*	1260 (1008)*	1152 (972)*	1176 —	696 (600)*	708 —	996 (792)*	876 (696)*
Putere în afara vîrfului	lei/kWan	504	—	—	—	—	—	—	588	—	384	—	—
Energie	lei/kWh												
— nediferențiat	—	—	—	0,18	0,18	0,17	0,14	0,17		0,17		0,12	0,10
— la vîrf		0,25	0,41	—	—	0,30	0,27	0,30		0,30		0,21	0,19
— în afara vîrfului		0,16	0,16	—	—	0,15	0,12	0,15		0,15		0,10	0,08
— de zi	—	—	—	—	—	0,19**	—	0,18**		0,18**		0,13**	—
— de noapte	—	—	—	—	—	0,13	—	0,11		0,11		0,09	—

1 ianuarie 1977				1 ianuarie 1981			1 ianuarie 1982			1 iulie 1982		
Medie tensiune, alți consumatori		Înaltă tensiune Mari consumatori industriali		Joasă tensiune	Medie tensiune	Înaltă tensiune	Joasă tensiune	Medie tensiune	Înaltă tensiune	Joasă tensiune	Medie tensiune	Înaltă tensiune
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
804 (672)*	816 —	480 (420)*	492 —	1272 —	792 —	372 —	1425 —	888 —	417 —	1902 —	1185 —	558 —
—	408		264	516	324	156	295	363	177	—	—	—
0,12		0,12		—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,21		0,21		0,50	0,50	0,73	0,56	0,56	0,56	0,97	0,75	0,75
0,10		0,10		0,19	0,18	0,18	0,21	0,20	0,20	0,28	0,27	0,27
0,13**		0,13**		—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,07		0,07			—	—	—	—	—	—	—	—

Notă:

* Preț pentru putere racordată lei/kVA · an

— Taxa de putere unică (nediferențiată) se referă la puterea maximă absorbită

— La diferențierea taxei de putere valoarea pentru putere în afara vîrfului

— Se înțelege ca supliment de puteri absorbite diferența față de maximul din timpul vîrfului

— Unde există mai multe grupe de preț pentru energie (nediferențiat, diferențiat, diferențiat vîrf rest și noapte) prețurile se înțeleg în alternativă

** Tarif diferențiat pe trei grupe: vîrf—zi—noapte

Altă latură a aceleiași probleme, probabil chiar mai importantă decît prima, nu a putut fi pînă acum abordată în mod deschis și corect. Este vorba de raportul între cheltuielile pentru energia electrică și acoperirea acestora prin tarife, respectiv, de corecta fundamentare a mărimii prețurilor practicate pentru furnizarea energiei electrice.

Dezbaterea acestei părți a problematicii tarifelor pentru energia electrică urmează a face obiectul unui alt articol.

(Primit la 9 aprilie 1990, acceptat la 23 aprilie 1990)

Sensibilitatea nivelurilor optime ale rezervei de avarie și gradului de siguranță ale unui sistem electroenergetic la variația parametrilor care le influențează

Dr. ing. ANCA POPESCU, dr. ing. MIRCEA CIOBANU, ing. DOINA POPOVICI, mat. GHEORGHE VÂLCEREANU, ing. FLOAREA BREAZU*

Descriptori: rezervă de avarie, grad de siguranță

La determinarea puterii necesare a fi instalate într-un sistem electroenergetic în perspectivă, o mare atenție trebuie acordată estimării, prin metode statistico-probabilistice adecvate, nivelului optim al rezervei de avarie. Acest nivel depinde, în principal, de următorii parametri: coeficienții de avariere ai grupurilor, investițiile specifice ale centralelor noi, prețul combustibililor și daunele specifice cauzate economiei naționale ca urmare a nelivrării energiei electrice necesare.

Avînd în vedere evoluția în timp a acestor parametri, în articol este determinat intervalul de maximă probabilitate în care se situează rezerva de avarie optimă atunci cînd parametrii de mai sus variază în intervale previzibile pentru perspectiva analizată.

Se constată că la variația parametrilor între limite suficient de largi, valorile optime ale rezervei de avarie procentuale se mențin într-un interval de maximă probabilitate relativ restrîns de circa trei procente din puterea produsă maximă anuală. Dacă în acest interval cheltuielile de dezvoltare și exploatare ale sistemului electroenergetic sînt minime, supradimensionarea și, mai ales, subdimensionarea sa sînt păgubitoare pentru economia națională.

Future installed power determination of power system must focus on reserve capacity for forced outages optimum level estimation by suitable statistical probabilistical methods. This level is determined mainly by the following parameters: units'forced outage rates, specific investments of new plants, fuel prices and unserved enegy cost.

Considering the evolution of these parameters in time, the report outlines the maximum probability interval where, the optimum reserve capacity for forced outages is located then, when the upper mentioned parameters vary in predictable intervals, for the analysis perspective.

It can be noted that during the parameter variation within sufficiently large limits, the optimum values of the percentual reserve capacity for forced outages remain within relatively restricted maximum probability interval of about three percents of the maximum annual produced power. If during this interval the power system development and operation expenses are minimal, the over and mainly under-dimensioning are affecting the national economy.

Datorită faptului că energia electrică nu poate fi stocată, satisfacerea consumatorilor cu un grad de siguranță convenabil presupune instalarea în sistemul electroenergetic a unor capacități de rezervă, care să înlocuiască instalațiile oprite planificat (rezerva pentru reparații planificate) sau accidental (rezerva de avarie) și să compenseze abaterile consumului față de valorile prognozate (rezerva de sarcină).

Reparațiile planificate ale agregatelor se efectuează ciclic, momentul scoaterii din exploatare și durata staționării în reparație fiind determinate după normativele în vigoare.

Spre deosebire de opririle pentru reparații planificate, care pot fi programate, opririle accidentale au loc în mod aleatoriu, funcție de tipul agregatului, mărimea puterii unitare, combustibil etc.

Tot un caracter aleatoriu au și abaterile sarcinii față de valorile preconizate, dar acestea au pondere relativ mică (circa 1 — 2% din

* Dr. ing. Anca Popescu, dr. ing. Mircea **Ciobanu**, ing. Doina Popovici, mat. Gheorghe Vâlcereanu, ing. Floarea Breazu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

sarcina maximă) în comparaţie cu rezerva de avarie.

Datorită caracterului lor aleatoriu, ultimele două categorii de rezerve trebuie determinate cu instrumente statistico-probabilistice adecvate, acestea constituind obiectul analizelor din prezentul material.

O altă trăsătură specifică sectorului energiei electrice este perioada relativ mare cerută de luarea deciziei, proiectarea, realizarea şi montarea instalaţiilor şi echipamentelor din centralele electrice noi. Ţinînd seama de această trăsătură şi de cota importantă din totalul investiţiilor reclamate de acest sector, este necesar ca studiile de dezvoltare a sistemului electroenergetic să se elaboreze periodic pentru orizonturi de timp cît mai îndepărtate.

Valoarea optimă a gradului de siguranţă este aceea care corespunde rezervei de avarie optime (inclusiv rezerva de sarcină).

Determinarea nivelului optim al rezervei de avarie necesară într-un sistem electroenergetic constă în alegerea acelei valori a rezervei pentru care cheltuielile totale actualizate — CTA, cumulate pe perioada de studiu, sînt minime. Principalii parametri care influenţează nivelul rezervei de avarie necesară în sistem sînt: coeficienţii de avariere ai grupurilor, investiţiile specifice ale centralelor noi, preţul combustibilului consumat şi daunele specifice cauzate economiei naţionale ca urmare a nelivrării energiei electrice necesare. Dat fiind nivelul de incertitudine privind evoluţia acestor parametri în viitor, singurul demers logic îl constituie determinarea intervalului de maximă probabilitate în care se situează rezerva de avarie optimă a sistemului atunci cînd cei patru parametri variază între o limită minimă şi una maximă, previzibile pentru perspectiva analizată.

În acest sens au fost concepute programe de dezvoltare a unui sistem electroenergetic pe termen lung, cu valori ale rezervei de avarie variind între 6 — 27% din puterea produsă maximă — $P_{p\,max}$ anuală, pentru care au fost evaluate CTA pentru fiecare din combinaţiile posibile ale parametrilor amintiţi, cu ajutorul modelului WASP—III [1, 2].

Modelul WASP, preluat de la AIEA şi adaptat în ISPE la specificul ţării noastre, determină programul optim de dezvoltare a centralelor electrice pe termen mediu şi lung (maximum 30 de ani) printr-un algoritm de programare dinamică după criteriul CTA minime. Punctul minim al fiecărei curbe de variaţie a CTA în funcţie de rezerva de avarie indică nivelul optim al acesteia din urmă şi, implicit, gradul de siguranţă optim al sistemului.

Programele de dezvoltare au fost astfel gîndite încît să fie echilibrate din punctul de vedere al centralelor electrice cu funcţionare la baza şi la vîrful curbei de sarcină, al rezervei de avarie şi gradului de siguranţă din fiecare an al perioadei de studiu. Rezerva de avarie şi gradul de siguranţă au fost determinate ca valori medii pentru două etape: 1996 — 2000 şi 1996 — 2010.

În vederea studierii sensibilităţii rezervei de avarie şi a gradului de siguranţă optime funcţie de tipul grupurilor cu care se dezvoltă sistemul electroenergetic au fost analizate următoarele strategii de dezvoltare:

— scenariul 1: dezvoltare cu grupuri nuclearoelectrice;
— scenariul 2: dezvoltare cu grupuri termoelectrice funcţionînd pe păcură;
— scenariul 3: dezvoltare cu grupuri termoelectrice funcţionînd pe cărbune.

Toate scenariile au ca elemente comune centralele electrice în funcţiune la începutul perioadei de studiu (anul 1996), programul de casări de grupuri ce ating durata de serviciu normată şi programul de dezvoltare în perspectivă a centralelor hidroelectrice de bază şi de vîrf.

Sensibilitatea rezervei de avarie şi a gradului de siguranţă optime la variaţia coeficientului de avariere al grupurilor noi a fost analizată în cadrul scenariului 1, luînd în considerare:

— grupuri nuclearoelectrice cu siguranţă ridicată, corespunzătoare unui coeficient de avariere $q_{min} = 12\%$ (varianta 1);
— grupuri nuclearoelectrice cu siguranţă scăzută, corespunzătoare unui coeficient de avariere $q_{max} = 25\%$ (varianta 2).

Valorile coeficientului de avariere q au fost alese în concordanţă cu datele întîlnite în literatură pentru grupurile nuclearoelectrice, ca de exemplu: 15% într-un studiu de caz efectuat de AIEA [1, p. 65], 20% în Suedia [3, p. 265], 21,7% în Jugoslavia [3, p. 312], 24% în Spania [3, p. 129].

La stabilirea intervalului probabil de variaţie a investiţiilor specifice au fost avute în vedere estimări din literatura de specialitate [3, 4, 5, 6, 10], adoptîndu-se următoarele valori:

- 45 000—65 000 lei/kW$_i$, pentru grupurile nuclearoelectrice în scenariul 1;
- 7 000 — 14000 lei/kW$_i$, pentru grupurile termoelectrice funcţionînd pe păcură în scenariul 2;
- 10000 — 20000 lei/kW$_i$, pentru grupurile termoelectrice funcţionînd pe cărbune în scenariul 3.

La stabilirea limitelor superioare ale acestor intervale pentru centralele clasice au fost avute în vedere şi instalaţiile suplimentare necesare controlului poluării mediului.

Ţinînd seama de tendinţele de evoluţie a preţurilor combustibililor fosili pe piaţa mondială [4, 8, 9, 10] au fost luate în considerare

următoarele valori sau intervale probabile de variație a acestora în perspectiva studiată :

- 9000 lei/kg uraniu în scenariul 1 ;
- 1345 — 2000 lei/tc.c. pentru păcură, în scenariul 2 (echivalentul intervalului 15 — 23 $/baril) ;
- 1000 — 1600 lei/t c.c. pentru cărbune, în scenariul 3 (echivalentul intervalului 50 — 80 $/t naturală).

Daunele specifice cauzate economiei naționale ca urmare a nelivrării energiei electrice necesare au fost estimate prin raportul dintre venitul național și energia electrică consumată pentru realizarea acestuia, rezultînd intervalul probabil de variație 5 — 20 lei/kWh, comun tuturor scenariilor analizate.

Rezultatele obținute în urma analizei unui număr foarte mare de combinații posibile ale valorilor rezervei de avarie, coeficientului de avariere al grupurilor, investițiilor specifice, prețului combustibilului și daunelor specifice sînt sintetizate în figurile : 1.1 (scenariul 1, varianta 1), 1.2 (scenariul 1, varianta 2), 2(scenariul 2), 3 (scenariul 3) numai pentru etapa 1996 — 2010, din rațiuni de spațiu, și în tabelele 1 (scenariul 1) și 2 (scenariile 2 și 3) pentru ambele etape.

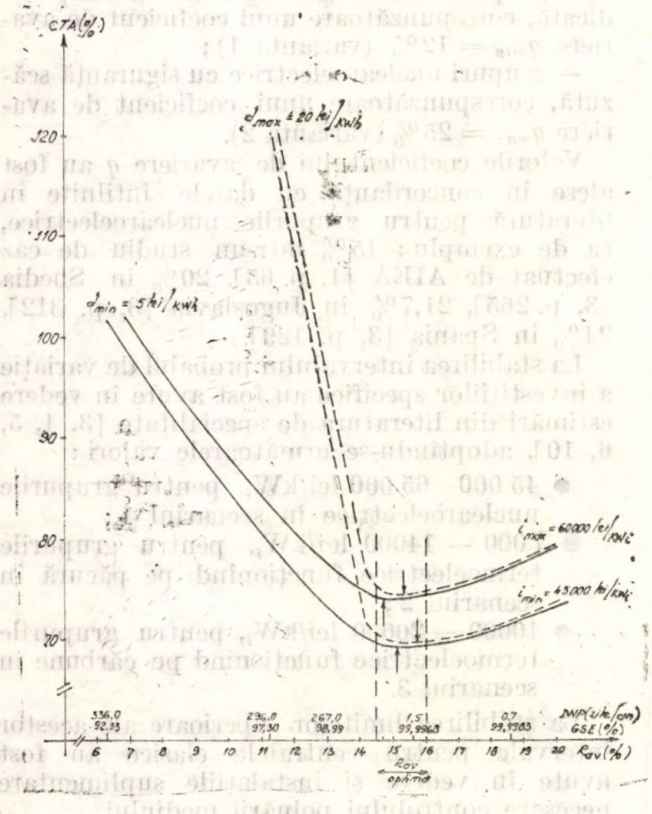


Fig. 1.1. Variația cheltuielilor totale actualizate (CTA) funcție de rezerva de avarie din SEN : scenariul 1 (CNE 700 MW + + CHE), varianta 1 ($q_{CNE} = 0{,}12$), etapa 199 — 2010.

Din analiza acestor rezultate se desprind următoarele constatări :

1. Creșterea investițiilor specifice conduce, atunci cînd restul parametrilor rămîn constanți, la creșterea importantă a CTA și la reducerea nivelului optim al rezervei de avarie procentuale și a gradului de siguranță optim.

Astfel, creșterea cu 1000 lei/kW$_i$ a investițiilor specifice în intervalele menționate are ca efect reducerea rezervei de avarie optime în medie cu 0,02 % din $P_{p\,max}$ în scenariul 1, cu 0,04 % în scenariul 2 și cu 0,05 % în scenariul 3.

2. Variația prețului combustibilului în intervalele menționate pentru scenariile 2 și 3 se repercutează puternic, așa cum era de așteptat, asupra valorii CTA, dar are influență mică asupra nivelului optim al rezervei de avarie procentuale și asupra gradului de siguranță optim, în sensul că minimul curbei CTA se deplasează puțin.

3. Creșterea daunelor specifice conduce, atunci cînd restul parametrilor rămîn constanți, la mărirea rezervei de avarie optime și a valorii gradului de siguranță optim. Creșterea CTA este, în acest caz, mult mai mare în zona rezervelor de avarie mici în comparație cu zona

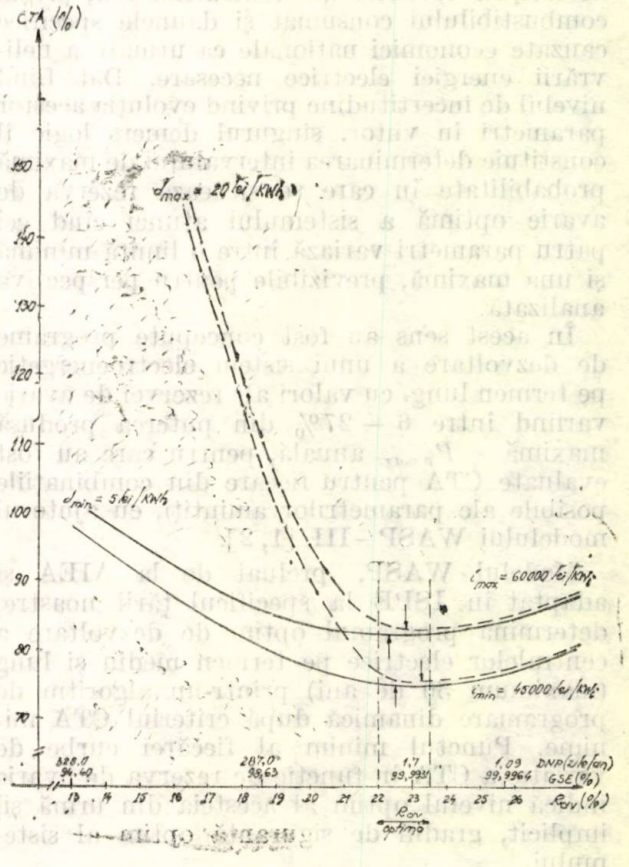


Fig 1.2. Variația cheltuielilor totale actualizate (CTA) funcție de rezerva de avarie din SEN : scenariul 1 (CNE 700 MW + CHE), varianta 2 ($q_{CNE} = 0{,}25$), etapa 1996—2010.

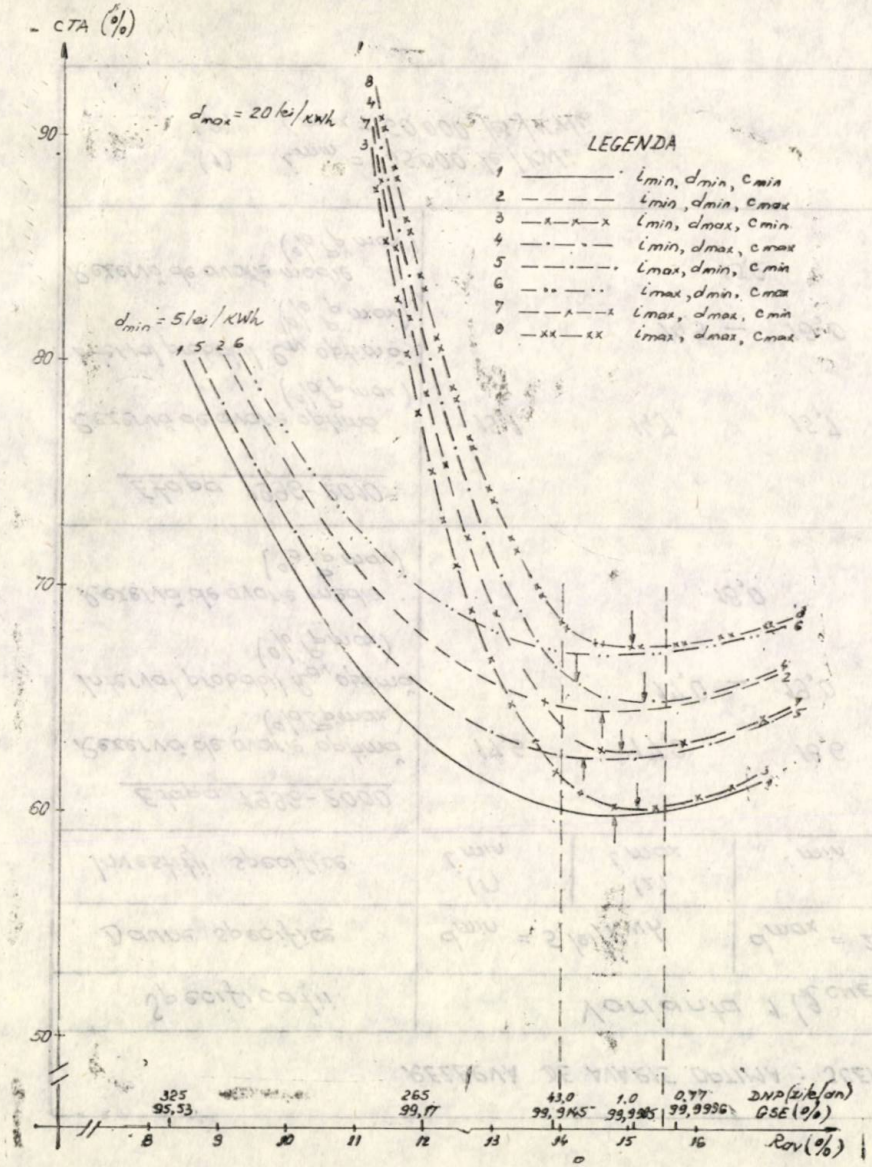


Fig. 2. Variaţia cheltuielilor totale actualizate (CTA) funcţie de rezervă de avarie din SEN scenariul 2 (CTE 330 MW păcură + CHE), etapa 1996 — 2010.

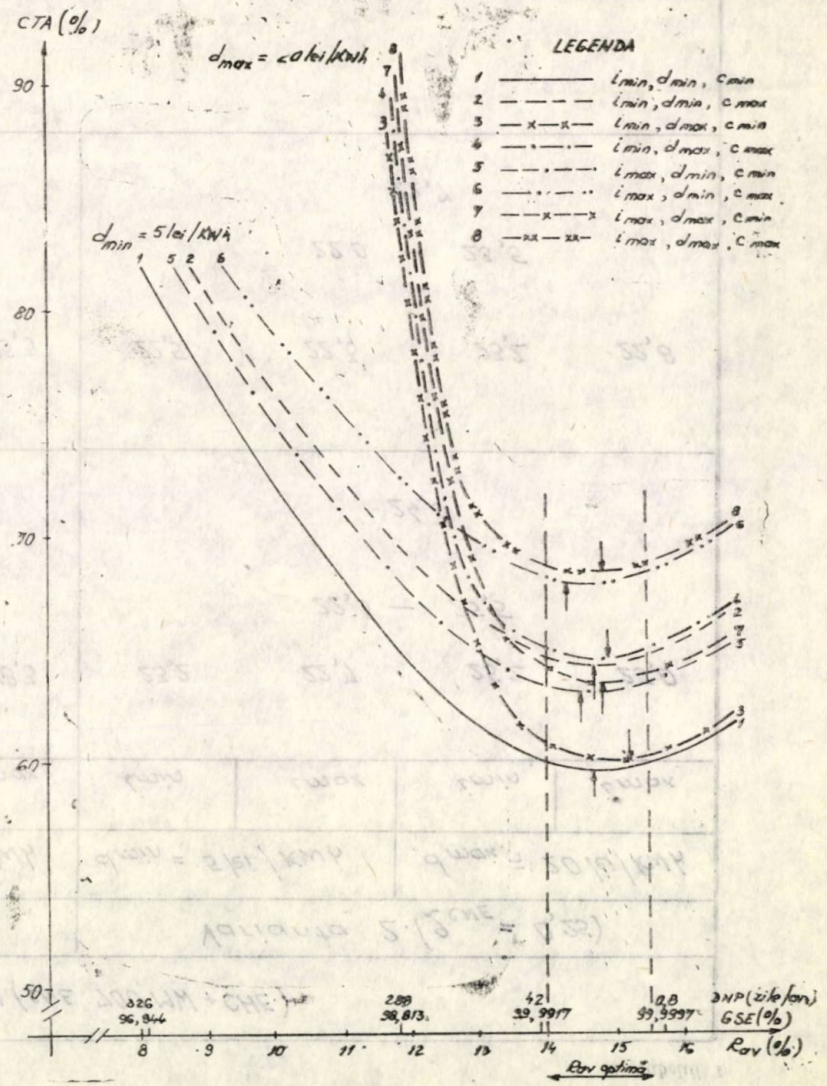


Fig. 3. Variaţia cheltuielilor totale actualizate (CTA) funcţie de rezerva de avarie din SEN : scenariul 3 (CTE 330 MW cărbune + CHE), e tapa 1996 — 2010.

Tabelul 1

REZERVA DE AVARIE OPTIMA : SCENARIUL 1 (CNE 700 MW + CHE)

Specificații	Varianta 1 (ϱ_{CNE} = 0,12)				Varianta 2 (ϱ_{CNE} = 0,25)			
Daune specifice	d_{min} = 5 lei/KWh		d_{max} = 20 lei/KWh		d_{min} = 5 lei/KWh		d_{max} = 20 lei/KWh	
Investiții specifice	i_{min} (1)	i_{max} (2)	i_{min}	i_{max}	i_{min}	i_{max}	i_{min}	i_{max}
Etapa 1996-2000								
Rezervă de avarie optimă (% $P_{p\,max}$)	17,6	17,2	18,6	18,3	23,2	22,7	25,2	25,0
Interval probabil R_{av} optimă (% $P_{p\,max}$)	17,0 — 19,0				22,5 — 25,5			
Rezervă de avarie medie (% $P_{p\,max}$)	18,0				24,0			
Etapa 1996-2010								
Rezervă de avarie optimă (% $P_{p\,max}$)	15,1	14,7	15,7	15,3	22,5	22,3	23,2	22,8
Interval probabil R_{av} optimă (% $P_{p\,max}$)	14,5 — 16,0				22,0 — 23,5			
Rezervă de avarie medie (% $P_{p\,max}$)	15,2				22,7			

(1) i_{min} = 45000 lei/KWi
(2) i_{max} = 60000 lei/KWi

REZERVA DE AVARIE OPTIMA : SCENARIILE 2 ȘI 3 — Tabelul 2

Specificații	Scenariul 2 (CTE 330 MW păcură + CHE)								Scenariul 3 (CTE 330 MW cărbune + CHE)							
Daune specifice	d_{min} = 5 lei/kWh				d_{max} = 20 lei/kWh				d_{min} = 5 lei/kWh				d_{max} = 20 lei/kWh			
Investiții specifice	i_{min} = 7000 lei/kW		i_{max} = 14000 lei/kW		i_{min}		i_{max}		i_{min} = 10000 lei/kW		i_{max} = 20000 lei/kW		i_{min}		i_{max}	
Costul combustibilului	c^P_{min}	c^P_{max}	c^P_{min}	c^P_{max}	c^P_{min}	c^P_{max}	c^P_{min}	c^P_{max}	c^C_{min}	c^C_{max}	c^C_{min}	c^C_{max}	c^C_{min}	c^C_{max}	c^C_{min}	c^C_{max}
Etapa 1996 - 2000																
Rezervă de avarie optimă (% $P_{p\,max}$)	18,1	18,0	17,8	17,7	18,7	18,8	18,6	18,7	18,1	17,8	17,8	17,6	18,7	18,8	18,1	18,4
Interval probabil R_{av} optimă (% $P_{p\,max}$)	17,5 — 19,0								17,5 — 19,0							
Rezervă de avarie medie (% $P_{p\,max}$)	18,2								18,2							
Etapa 1996 - 2010																
Rezervă de avarie optimă (% $P_{p\,max}$)	14,8	14,6	14,3	14,2	15,1	15,2	14,9	15,0	14,7	14,6	14,5	14,3	15,2	14,9	14,8	14,8
Interval probabil R_{av} optimă (% $P_{p\,max}$)	14,0 — 15,5								14,0 — 15,5							
Rezervă de avarie medie (% $P_{p\,max}$)	14,7								14,7							

c^P_{min} (păcură) = 1345 lei/tc — c^C_{min} (cărbune) = 1000 lei/tc

c^P_{max} (păcură) = 2000 lei/tc — c^C_{max} (cărbune) = 1600 lei/tc

rezervei de avarie optime și cu zona rezervelor de avarie superioare celei optime.

Astfel, creșterea cu 5 lei/kWh a daunelor specifice în intervalul menționat are ca efect mărirea rezervei de avarie procentuale optime în medie cu 0,4% din $P_{p\,max}$ în scenariul 1 și cu 0,2% în scenariile 2 și 3.

4. La variația concomitentă a investițiilor specifice, prețului combustibilului și daunelor specifice între limitele specificate, deși curbele CTA se situează mai sus sau mai jos unele în raport cu celelalte, minimele lor și, prin urmare, valorile optime ale rezervei de avarie procentuale se mențin într-un interval de maximă probabilitate relativ restrîns, de cel mult 3 procente din puterea produsă maximă anuală, și anume :

- pentru etapa 1996 — 2000 :
  17,0 — 19,0% în scenariul 1, varianta 1 ;
  22,5 — 25,5% în scenariul 1, varianta 2 ;
  17,5 — 19,0% în scenariile 2 și 3.
- pentru etapa 1996 — 2010 :
  14,5 — 16,0% în scenariul 1, varianta 1 ;
  22,0 — 23,5% în scenariul 1, varianta 2 ;
  14,0 — 15,5% în scenariile 2 și 3.

Pentru rezerve de avarie cuprinse în intervalul optim de maximă probabilitate, gradul de siguranță al sistemului, estimat prin indicatorul „grad de satisfacere a energiei electrice — GSE (%)", care exprimă raportul în procente între energia livrată și energia necesară, se situează în jurul valorii de 99,95%, iar dacă este estimat cu indicatorul „Durata medie de nesatisfacere a puterii cerute — DNP (zile/an)", se situează în intervalul 0,8 — 43,0 zile/an, această durată medie referindu-se la toate situațiile de deficit de putere, indiferent de gravitatea lor.

5. Parametrul a cărui variație modifică în cea mai mare măsură valoarea rezervei de avarie procentuale optime este disponibilitatea grupurilor, după cum rezultă din compararea variantelor 1 și 2 ale scenariului 1, pentru care rezerva de avarie optimă este cuprinsă în etapa 1996 — 2000 între :

$$17{,}0 - 19{,}0\% \text{ dacă } q_{CNE} = 0{,}12$$

$$\text{și } 22{,}5 - 25{,}5\% \text{ dacă } q_{CNE} = 0{,}25,$$

iar în etapa 1996 — 2010 între :

$$14{,}5 - 16{,}0\% \text{ dacă } q_{CNE} = 0{,}12$$

$$\text{și } 22{,}0 - 23{,}5\% \text{ dacă } q_{CNE} = 0{,}25.$$

Se remarcă o creștere a mediei rezervei de avarie optime (media intervalului de maximă probabilitate al rezervei de avarie optime) de 6% în etapa 1996 — 2000 și de 7,5% în etapa 1996 — 2010 la creșterea coeficientului de avariere al grupurilor nuclearoelectrice cu 13% procente, adică o creștere medie a rezervei de avarie optime cu circa 1% atunci cînd coeficientul de avariere crește cu circa 2%.

6. Dimensionarea rezervei de avarie la valori cuprinse în intervalul optim de maximă probabilitate conduce la CTA minime și constituie soluția cea mai avantajoasă pentru economia unei țări.

7. Funcționarea sistemului electroenergetic cu o rezervă de avarie mai mică decît cea optimă este foarte păgubitoare datorită componentei „daune", care face ca CTA să crească vertiginos pe măsura depărtării de intervalul optim al rezervei de avarie chiar pentru valori ale daunelor specifice apropiate de 5 lei/kWh și, cu atît mai mult, pentru valori apropiate de 20 lei/kWh. În această zonă valoarea daunelor specifice are o mare influență asupra formei curbei CTA.

Gradul de siguranță al sistemului se degradează și el foarte rapid pe măsura scăderii rezervei de avarie în raport cu zona optimă, ajungîndu-se la valori ale duratei medii de nesatisfacere a puterii cerute foarte mari, ca de exemplu :

- 267 zile/an pentru o rezervă de avarie cu numai 1,5% (din $P_{p\,max}$) mai mică decît cea optimă, în scenariul 1, varianta 1 ;
- 265 zile/an pentru o rezervă de avarie cu 2% mai mică decît cea optimă, în scenariul 2 ;
- 288 zile/an pentru o rezervă de avarie cu 2,2% mai mică decît cea optimă, în scenariul 3.

8. La funcționarea sistemului cu rezervă de avarie mai mare decît cea optimă, CTA cresc datorită componentei „investiții", dar mult mai lent decît pentru ramura corespunzătoare rezervelor mici.

În această zonă gradul de siguranță continuă să crească pe măsura creșterii rezervei de avarie, dar mai lent decît în zona rezervelor mici, datorită unui fenomen de saturare a sa pe măsura apropierii de asigurarea 100%.

Judecînd însă după variația ambelor elemente : CTA și gradul de siguranță, se poate trage concluzia că *subdimensionarea SEN este cu mult mai păgubitoare decît supradimensionarea sa.*

9. Pe măsura dezvoltării sistemului, dacă se menține gradul de siguranță constant scade nivelul rezervei de avarie optime procentuale, iar dacă se menține constantă rezerva de avarie procentuală crește gradul de siguranță. Acesta este unul din argumentele în favoarea realizării interconexiunilor între sistemele electroenergetice.

10. Din punctul de vedere al intervalului de maximă probabilitate al rezervei de avarie optime la variația parametrilor considerați se constată că scenariul 1, varianta 1 ($q_{CNE} = 0{,}12$) este similar scenariilor 2 și 3, conducînd la valori ale rezervei de avarie optime cuprinse în intervalul 17,0 (17,5) — 19,0%

în etapa 1996 — 2000 și în intervalul 14,0 (14,5) — 15,5 (16,0)% în etapa 1996 — 2010.

Faptul că rezerva de avarie procentuală optimă se menține în intervale relativ restrînse atunci cînd parametrii care o influențează variază în intervale previzibile destul de largi are o importanță deosebită pentru studiile viitoare de optimizare a dezvoltării SEN, deoarece permite reducerea puternică a numărului de variante ce trebuie analizate cu ajutorul modelului WASP.

* * *

Din cele de mai sus rezultă că la determinarea puterii necesare a fi instalate în etapele de perspectivă trebuie să se acorde o mare atenție estimării nivelului optim al rezervei de avarie. Prevederea unei rezerve de avarie corespunzătoare intervalului optim de maximă probabilitate constituie soluția cea mai avantajoasă pentru economia unei țări; supradimensionarea și, mai ales, subdimensionarea rezervei de avarie sînt cu atît mai păgubitoare cu cît se abat mai mult de la intervalul optim.

Analize similare celei prezentate în acest material sînt necesare a fi efectuate periodic pentru a se pune de acord nivelul optim al rezervei de avarie cu modificările permanente ale parametrilor care îl influențează.

Bibliografie

[1] IAEA *wien Automatic System Planning Package (WASP), A Computer code for power generating system expansion planning.* Users'manual for version WASP-III, Vienna 1980.

[2] Breazu, F., Goldenberg, C., Manolescu, G., Vâlcereanu, Gh. *Unele aspecte privind planificarea în România a dezoltării centralelor electrice cu ajutorul pachetului de programe WASP-III.* In: Energetica, 34, nr. 7, iulie 1987, p. 289—294.

[3] IAEA-TEC DOC-364 *Experience with the agency's WASP for nuclear power planning in developing countries.* Proceedings of an advisory group meeting held in Vienna, 16—20 september 1985.

[4] Bennett, L. L. *Nuclear Energy in Developing Countries,* IAEA Training Course in Electricity Demand Forecasting, November 1985.

[5] IAEA-TEC DOC-470 *Energy and electricity demand forecasting for nuclear power planning in developing countries.* Vienna, 1988.

[6] Srinivasan, M. R., Mahadeva Rao, K. V. *Tendințe și politici energetice; rolul energiei nucleare în contextul indian,* Al 13-lea congres al CME, Cannes, oct. 1986 (rap. 1. 21. 8).

[7] PE 011/1982 *Normativ privind calculele comparative tehnico-economice la instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice*

[8] *Politiques et programmes energetiques des pays de l'AIE, Examen 1984.* Paris, 1985.

[9] Brown, L. R. *Probleme globale ale omenirii.* Ed. Tehnică, 1988.

[10] Koritarov, Vl., Sretenovic, Z. *Planning of mixed hydro-thermal system, WASP/VALORAGUA method, A case study 1987—2005 for Jugoslavia.* Belgrade, March 1989

(Primit la 1 decembrie 1989, acceptat la 28 decembrie 1989)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

SCENARIUL — METODĂ DE PROGNOZĂ ÎN ENERGETICĂ APLICATĂ PE CAZUL ELVEȚIEI

Dezvoltarea tehnicii și tehnologiilor moderne legate de energetică, care să răspundă în modul cel mai complet cerințelor acesteia este posibilă numai cu condiția cunoașterii depline a tendințelor și legităților acestui proces de dezvoltare.

Scenariul constituie, în acest context, calea probabilă de dezvoltare, direcționată pe un scop precis, a tendințelor, care se desprind din analiza științifică a esenței problemei. În noțiunea de prognoză se include analiza obiectivă și cît mai completă posibil, atît a scenariilor — cheie (de bază), cît și a efectelor, consecințelor probabile (posibile) ale dezvoltării acestui proces.

Este necesar ca prognoza să cuprindă cîteva scenarii de același tip, care să permită obținerea rezultatelor căutate prin prognoză. Condiția fundamentală pentru succesul unei prognoze în energetică o constituie evaluarea corespunzătoare a factorilor economici (forța de muncă, investițiile, nivelul de dezvoltare a producției, prezența materiilor prime etc.). Dezvoltarea factorilor economici este posibilă numai în condițiile dezvoltării corespunzătoare a nivelului tehnic și ale unor reale posibilități de producere și livrare a echipamentelor și mașinilor la scară industrială. În acest proces un loc important îl ocupă producerea unor astfel de mașini electrice și de aparate pentru uz casnic, încît acestea să permită economii mari de energie electrică.

Prognoza trebuie să cuprindă în mod obligatoriu și dezvoltarea ramurilor industriale, precum și cerințele de energie electrică și termică ale acestora.

Considerațiile de mai sus constituie o sinteză a articolului publicat de D. Spreng în revista elvețiană „Bull. Schweiz. pectrotechn. Ver"., 1988, 79, nr. 10, în limba germană.

Ca o aplicație a metodei scenariilor, descrisă mai sus, aceeași revistă publică, în același număr, un alt articol, semnat de H. L. Schmid. Aceasta arată că, după Cernobîl, a apărut necesitatea revizuirii scenariului de dezvoltare (SD) anterior drept pentru care un grup de experți a elaborat cîteva grupe de noi SD ale energeticii Elveției, la orizontul de prognoză — anul 2025, cu luarea în considerare a opiniei publice pe baza unor referendumuri. În aceste scenarii s-a inclus posibilitatea creșterii prețurilor la purtătorii de energie și în special la țiței.

Într-unul din scenarii s-a prevăzut dezvoltarea energeticii nucleare pînă la o putere totală de 6200 MW, în anul 2025 (față de 2900 MW în 1985), cu o pondere în balanța termoenergetică a țării de 55%.

În ansamblu, în scenariile de dezvoltare s-a luat în considerare o creștere nesemnificativă a consumului de energie electrică, astfel ca pînă în 2025 acesta va crește doar cu 39%, fapt care poate fi realizat pe calea unei utilizări largi a unor noi mașini și aparate electrice, avînd consumuri specifice mici de energie electrică și care să fie utilizate în mod deosebit în sectorul casnic și edilitar — comunal.

Scenariile de dezvoltare prevăd dezvoltarea UHE și creșterea ponderii lor în balanța energetică la 16%, surselor alternative noi de energie revenindu-le doar 1%. În ele se ține seama de posibilitatea unor influențe negative asupra mediului ambiant, din partea oxizilor și prafului, rezultate din gazele de ardere ale centralelor electrice și se prevăd măsuri de micșorare a acestor influențe.

(După: Referatimii. jurnal, Energhetika, 22, nr. 9/1988, poz. 9T, 74 și 9T 73)

Model matematic, algoritm și program de calcul mecanic al conductoarelor liniilor electrice aeriene

Ing. GHEORGHE NICOLAU*

Descriptori: linii electrice aeriene, modele matematice, programe de calcul

În articol se descriu modelul matematic, algoritmul și programul de calcul pentru rezolvarea ecuațiilor de stare ale conductorului unei linii electrice aeriene a cărui curbă este descrisă de ecuația lănțișorului.

Lucrarea se adresează în primul rînd proiectanților de linii electrice aeriene.

The report describes the mathematical model, the algorithm and calculation program for solving state equations of an OH line conductor whose curve is described by the catenary chains equation.

The report addresses mainly OH lines designers.

Introducere

În calculele de proiectare conductoarele liniilor electrice aeriene (LEA) se consideră fire flexibile și inextensibile. În aceste condiții forma curbei unui conductor este dată de ecuația lănțișorului.

Datorită dificultății de a rezolva ecuația de stare a conductorului (care conține funcții hiperbolice) în practică se utilizează un model care consideră curba conductorului ca o parabolă. Acesta este un model aproximativ, impus numai de considerente practice legate de ușurința calculelor și care, în cazul deschiderilor mari și al încărcărilor mari pe conductorul LEA, duce la erori importante. Astfel, în literatură [1] se prevede că, pentru deschideri de 400 m cu puncte de suspensie la același nivel, eroarea atinge 5% și crește foarte repede cu deschiderea.

Utilizarea calculatorului electronic de putere medie (de tipul FELIX) programat într-un limbaj algoritmic (FORTRAN) face posibilă rezolvarea ecuației de stare a conductorului conținînd funcții hiperbolice, cu condiția utilizării unei metode numerice adecvate.

În prezentul articol se indică modelul matematic, algoritmul de rezolvare și programul de calcul al ecuației de stare, considerînd conductorul descris de ecuația lănțișorului.

Modelul matematic a fost astfel întocmit încît să facă posibil un calcul care consideră modulul de elasticitate al conductorului variabil (modul inițial) sau constant (modul final), cunoscut fiind că neconsiderarea în calcule a variației modulului de elasticitate al conductorului duce la erori de 5 — 10% [1].

1. Modelul matematic

Pentru deducerea ecuației de stare se utilizează relațiile din [1] după cum urmează.

Se consideră un panou de întindere cu n deschideri. În deschiderea K alungirea conductorului între două stări oarecare (ΔL_K) este dată de relația:

$$\Delta L_K = \frac{d_{0k}}{d_k}(L_{01k} - L_{02k}), \qquad (1)$$

unde:

d_k este distanța între punctele de suspensie ale conductorului;

d_{0k} — proiecția pe orizontală a lui d_k;

L_{01k}, L_{02k} — lungimea conductorului cu puncte de suspensie la același nivel în starea 1, respectiv în starea 2.

Lungimea L_{0ik} rezultă din relația:

$$L_{0ik} = \frac{2\sigma_{0i}}{\gamma_i} \operatorname{sh} \frac{d_{0k}\gamma_i}{2\sigma_{0i}}, \qquad (2)$$

în care: σ_{0i} este efortul în conductor în starea i;

γ_i — sarcina specifică în starea i.

Alungirea conductorului datorată diferenței de temperatură și de efort între cele două stări rezultă din relația:

$$\Delta L = \left[(t_1 - t_2)\,\alpha + \frac{\sigma_{m1k} - \sigma_{m2k}}{E}\right] d_k, \qquad (3)$$

* Ing. Gheorghe Nicolau — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București

unde :

t_1, t_2 reprezintă temperatura în starea 1, respectiv în starea 2 ;

α — coeficient de alungire termică ;

σ_{m1k}, σ_{m2k} — efortul la mijlocul deschiderii în starea 1, respectiv în starea 2 ;

E — modulul de elasticitate al conductorului.

Între efortul σ_{mlk} și σ_0 se poate deduce relația :

$$\sigma_{mlk} = \frac{\sigma_{0l}}{\cos \psi_k} = \sigma_{0l} \frac{d_k}{d_{0k}}. \tag{4}$$

Considerînd o deschidere l de referință în care se efectuează calculul, relația (4) dă :

$$\sigma_{mll} = \sigma_{0l} \frac{d_l}{d_{0l}}. \tag{5}$$

Din relațiile (4) și (5) rezultă :

$$\sigma_{mlk} = \sigma_{mll} \frac{d_k}{d_{0k}} \cdot \frac{d_{0l}}{d_l}. \tag{6}$$

Considerînd efortul mediu care solicită conductorul egal cu σ_{mll} (ipoteză admisă în calculele care se fac în prezent) rezultă

$$\varepsilon_l = \frac{\sigma_{mll}}{E}. \tag{7}$$

Deplasarea punctelor de suspensie duce la modificarea distanței d_k cu valoarea :

$$\Delta d_k = \frac{d_{0k}}{d_k} \Delta d_{0k}, \tag{8}$$

unde Δd_{0k} este proiecția pe orizontală a lui Δd_k.

Alungirea datorată diferenței de temperatură și efort este egală cu alungirea dată de curba geometrică a conductorului la care se adaugă modificarea distanței d_k, adică

$$\Delta L = \Delta L_k + \Delta d_k. \tag{9}$$

Înlocuind în relația (9) valorile din relațiile (1), (3) și (8) și mărimile definite mai sus rezultă în final :

$$\Delta d_{0k} = \frac{d_k^2}{d_{0k}} (t_1 - t_2)\alpha + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \frac{d_k^3}{d_{0k}^2} \frac{d_{0l}}{d_l} - \frac{2\sigma_{01}}{\gamma_1} \frac{d_k}{d_{0k}} \operatorname{sh} \frac{d_{0k}\gamma_1}{2\sigma_{01}} + \frac{2\sigma_{02}}{\gamma_2} \frac{d_k}{d_{0k}} \operatorname{sh} \frac{d_{0k}\gamma_2}{2\sigma_{02}}. \tag{10}$$

Însumînd relația (10) membru cu membru pentru cele n deschideri și ținînd seama că $\sum d_{0k} = 0$ se obține în final :

$$\varepsilon_2 = a + b\sigma_{02} \sum \frac{d_k}{d_{0k}} \operatorname{sh} \frac{d_{0k}\gamma_2}{2\sigma_{02}}, \tag{11}$$

unde :

$$a = (t_1 - t_2)\alpha \frac{d_l}{d_{0l}} \frac{\sum \frac{d_k^2}{d_{0k}}}{\sum \frac{d_k^3}{d_{0k}^2}} + \varepsilon_1 - \frac{2\sigma_{01}}{\gamma_1} \frac{d_l}{d_{0l}} \frac{\sum \frac{d_k}{d_{0k}} \operatorname{sh} \frac{d_{0k}\gamma_1}{2\sigma_{01}}}{\sum \frac{d_k^3}{d_{0k}^2}}. \tag{12}$$

$$b = \frac{2}{\gamma_2} \frac{d_l}{d_{0l}} \frac{1}{\sum \frac{d_k^3}{d_{0k}^2}} \tag{13}$$

Formula (11) realizează funcția $\varepsilon_2 = f(\sigma_{02})$.

În continuare se va stabili forma funcției $\sigma_{m2l} = f(\sigma_{02})$ plecînd de la relațiile descrise în [1].

În figura 1 este redat schematic conductorul din deschiderea de referință l.

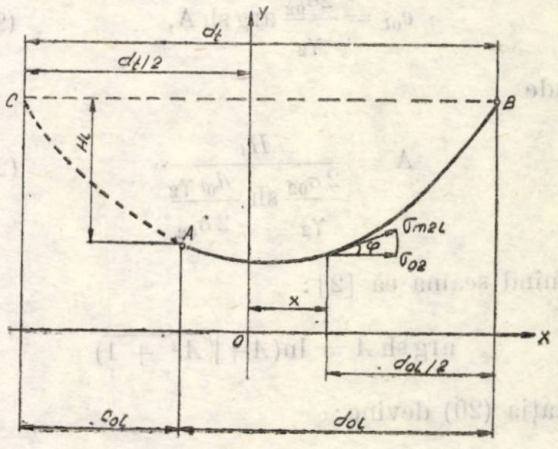


Fig. 1

Conductorul este suspendat între punctele A și B, punctul C reprezentînd intersecția între prelungirea curbei AB și orizontala care trece prin B.

Din figura 1 rezultă următoarele relații :

$$\sigma_{m2l} = \frac{\sigma_{02}}{\cos \varphi} \tag{14}$$

$$2\left(x + \frac{d_{0l}}{2}\right) = d_{0l} + c_{0l}$$

de unde

$$x = \frac{c_{0l}}{2} \tag{15}$$

Pe de altă parte, există relația [1]:

$$\frac{1}{\cos \varphi} = \operatorname{ch} \frac{x\gamma_2}{\sigma_{02}} \tag{16}$$

Ținînd seama de relațiile (15) și (16), relația (14) devine:

$$\sigma_{m2l} = \sigma_{02} \operatorname{ch} \frac{c_{0l}\gamma_2}{2\sigma_{02}}. \tag{17}$$

Valoarea lui c_{0l} se scoate din relația [1]:

$$\operatorname{sh} \frac{c_{0l}}{2h_0} = \frac{H_l}{2h_0 \operatorname{sh} \frac{d_{0l}}{2h_0}}, \tag{18}$$

unde:

$$h_0 = \frac{\sigma_{02}}{\gamma_2}. \tag{19}$$

Din relația (18), ținînd seama de (19) rezultă:

$$c_{0l} = \frac{2\sigma_{02}}{\gamma_2} \operatorname{arg\,sh} A, \tag{20}$$

unde

$$A = \frac{H_l}{\frac{2\sigma_{02}}{\gamma_2} \operatorname{sh} \frac{d_{0l}\gamma_2}{2\sigma_{02}}}. \tag{21}$$

Ținînd seama că [2]:

$$\operatorname{arg\,sh} A = \ln(A + \sqrt{A^2 + 1})$$

relația (20) devine:

$$c_{0l} = \frac{2\sigma_{02}}{\gamma_2} \ln(A + \sqrt{A^2 + 1}). \tag{22}$$

Înlocuind relația (22) în (17), se obține relația:

$$\sigma_{m2l} = \sigma_{02} \operatorname{ch} \ln (A + \sqrt{A^2 + 1}) \tag{23}$$

Ținînd seama că

$$\operatorname{ch} \ln x = \frac{1}{2}\left(x + \frac{1}{x}\right)$$

relația (23) devine în final, ținînd seama și de relația (21):

$$\sigma_{m2l} = \sqrt{\frac{\gamma_2^2 H_l^2}{4 \operatorname{sh}^2 \frac{d_{0l}\gamma_2}{2\sigma_{02}}} + \sigma_{02}^2}. \tag{24}$$

În continuare se va deduce o relație între σ_{m2l} și ε_2. Această relație pleacă de la ridicarea experimentală, prin puncte, a curbei $\sigma = f(\varepsilon)$, supunînd o mostră de conductor la o probă de tracțiune.

Dacă se cunosc n perechi de valori σ_i, ε_i ridicate experimental, se poate găsi o expresie polinomială de forma:

$$\sigma = a_1\varepsilon^{n-1} + a_2\varepsilon^{n-2} + \ldots a_k\varepsilon^{n-k} + \ldots + a_n. \tag{25}$$

Coeficienții a_k se calculează punînd condiția ca cele n puncte să se găsească pe curbă, adică

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= a_1\varepsilon_1^{n-1} + a_2\varepsilon_1^{n-2} + \ldots + a_n \\ \sigma_2 &= a_1\varepsilon_2^{n-1} + a_2\varepsilon_2^{n-2} + \ldots + a_n \\ &\vdots \\ \sigma_n &= a_1\varepsilon_n^{n-1} + a_2\varepsilon_n^{n-2} + \ldots + a_n \end{aligned} \tag{26}$$

Relațiile (26) reprezintă un sistem de n ecuații liniare cu n necunoscute (mărimile a_i).

Este important de subliniat că precizia reprezentării polinomiale poate fi oricît crescută, crescînd valoarea lui n.

Pentru a ilustra acest aspect se consideră datele experimentale din tabelul 1, ridicate pentru un conductor din OL—Al 450/75 mm^2.

În cazul utilizării polinomului de gradul 2 (f_1), eroarea maximă în întreg domeniul valorilor a fost de 9,54 % în timp ce pentru polinomul de gradul 3 (f_2) eroarea a scăzut la 1,48%.

Se atrage atenția asupra faptului că această curbă polinomială are aspectul curbei experimentale numai în intervalul de valori experimentale considerat, această remarcă fiind importantă pentru stabilirea algoritmului de rezolvare care se va da în paragraful următor.

Ecuațiile (11), (24) și (25) (în care σ se ia egal cu σ_{m2l}, iar ε egal cu ε_2) formează un sistem de trei ecuații cu trei necunoscute (σ_{02}, σ_{m2l} și ε_2). Aceste ecuații vor fi numite în continuare „ecuații de stare" ale conductorului, întrucît permit trecerea între starea 1 și starea 2.

Găsirea unor formule de rezolvare a ecuațiilor de stare este, pe de o parte, dificilă și, pe de altă parte, inutilă, căci, în cazul găsirii unor formule complicate, erorile de calcul date de acestea le-ar face neutilizabile.

Singura cale care rămîne de urmat este aceea de a găsi o metodă numerică de rezolvare care se va da în continuare.

2. Algoritmul de rezolvare a ecuațiilor de stare

În figura 2 se dă reprezentarea grafică, pentru valori pozitive ale variabilei independente, a funcțiilor $\sigma_{m2l} = f(\sigma_{02})$ (notată f_2), $\varepsilon_2 = f(\sigma_{02})$ (notată f_1) și $\sigma_{m2l} = f(\varepsilon_2)$ (notată f_3).

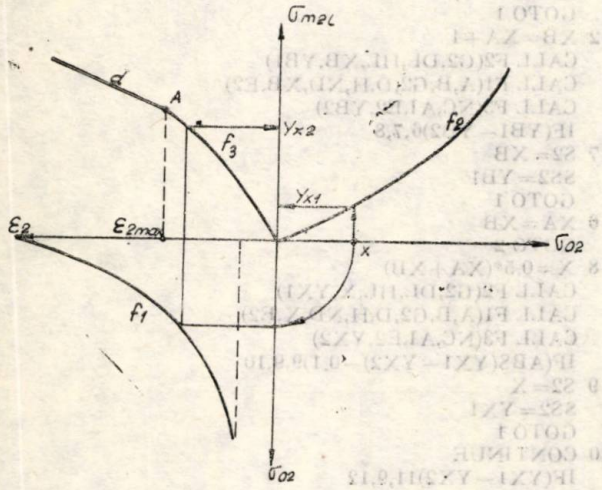


Fig. 2

Pentru a înțelege mecanismul de rezolvare propus se consideră o valoare x a lui σ_{02} (fig. 2) și se calculează :

$$Yx_1 = f_2(x); \quad \varepsilon_2 = f_1(x); \quad Yx_2 = f_3(\varepsilon_2).$$

Dacă se consideră acum o valoare $x' > x$ ($x' < x$) se obține, urmînd același mecanism descris mai sus, $Yx_1' > Yx_1$ ($Yx_1' < Yx_1$) și $Yx_2' < Yx_2$ ($Yx_2' > Yx_2$). De aici rezultă că, dacă pentru o valoare a lui x $Yx_1 < Yx_2$, trebuie mărit x astfel încît să se ajungă la $Yx_1 = Yx_2$ pentru care se obține soluția sistemului de ecuații (în mod asemănător, dacă $Yx_1 > Yx_2$, trebuie micșorat x).

Metoda de rezolvare pleacă de la stabilirea unei valori $x = \sigma_{02min}$ pentru care $Yx_1 \leqslant Yx_2$. Această valoare se calculează în subrutina SMIN a cărei schemă logică este dată în figura 3.

Rezolvarea propriu-zisă a sistemului de ecuații se face în subrutina EC a cărei schemă logică este dată în figura 4. În această subrutină, în prima fază se stabilește un interval între XA și XB = XA + 1 (începînd cu XA = $= \sigma_{02min}$ calculat de subrutina SMIN) în care se găsește rădăcina.

În a doua fază se consideră o valoare x la mijlocul intervalului — X = 0,5 (XA + XB) — care permite înjumătățirea intervalului în care se află rădăcina. Procesul de înjumătățire se continuă pînă cînd

$$|Yx_1 - Yx_2| \leqslant \eta,$$

în care η este eroarea absolută care se admite în calcul.

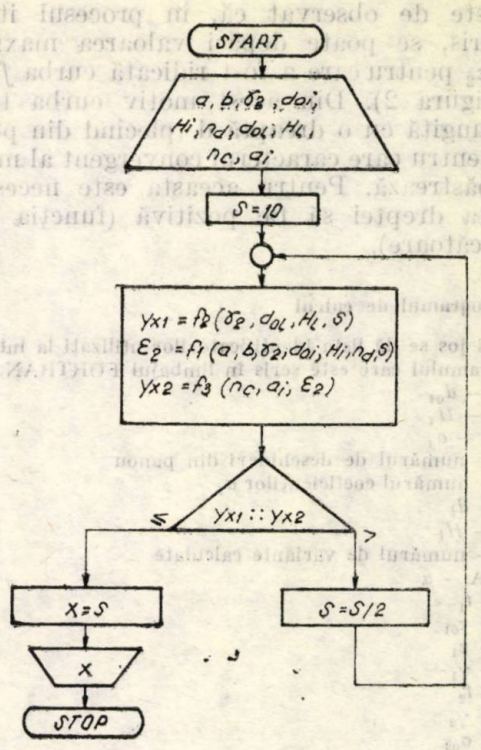


Fig. 3. Schema logică a subrutinei SMIN.

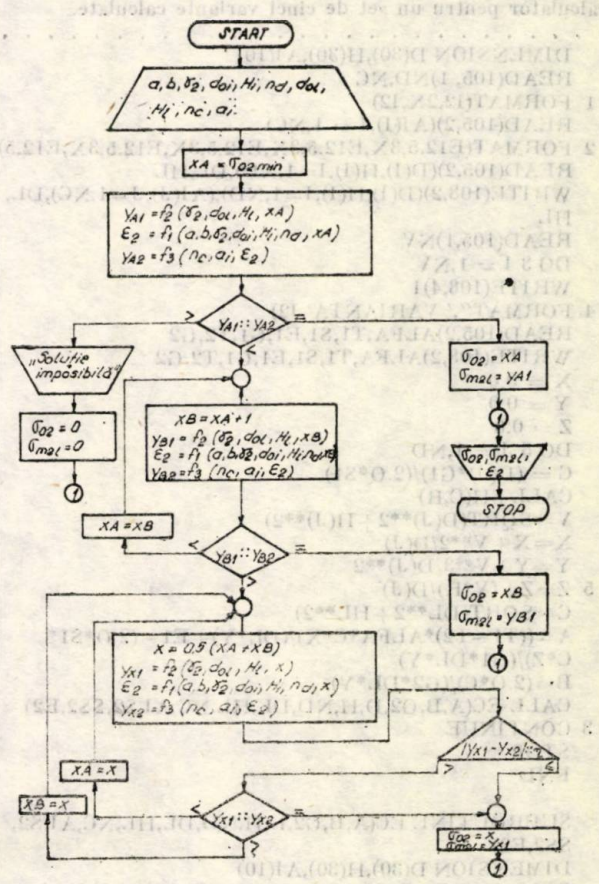


Fig. 4. Schema logică a subrutinei EC.

Este de observat că, în procesul iterativ descris, se poate depăși valoarea maximă a lui ε_2 pentru care a fost ridicată curba $f_3(\varepsilon_{2max}$ în figura 2). Din acest motiv curba trebuie prelungită cu o dreaptă d (plecînd din punctul A) pentru care caracterul convergent al metodei se păstrează. Pentru aceasta este necesar ca panta dreptei să fie pozitivă (funcţia să fie crescătoare).

3. Programul de calcul

Mai jos se dă lista identificatorilor utilizaţi la întocmirea programului care este scris în limbajul FORTRAN.

D(I) — d_{0i}
H(I) — H_i
AI(I) — a_i
ND — numărul de deschideri din panou
NC — numărul coeficienţilor a_i
DL — d_l
HL — H_l
NV — numărul de variante calculate
ALFA — α
T1 — t_1
S1 — τ_{01}
E1 — ε_1
G1 — γ_1
T2 — t_2
G2 — γ_2
S2 — σ_{02}
SS2 — σ_{n2l}
E2 — ε_2
A — a din relaţia (11)
B — b din relaţia (11)

În continuare se dă programul şi rezultatele tipărite de calculator pentru un set de cinci variante calculate.

. . . . . .

```
      DIMENSION D(30),H(30),AI(10)
      READ(105, 1)ND,NC
    1 FORMAT(I2,2X,I2)
      READ(105,2)(AI(I),I = 1,NC)
    2 FORMAT(E12.5,3X,E12.5,3X,E12.5,3X,E12.5,3X,E12.5)
      READ(105,2)(D(I),H(I),I=1,ND),DL,HL
      WRITE(108,2)(D(I),H(I),I=1,ND),(AI(J),J=1,NC),DL,
      HL
      READ(105,1)NV
      DO 3 I = 1,NV
      WRITE(108,4)I
    4 FORMAT('',' VARIANTA',I2)
      READ(105,2)ALFA,T1,S1,E1,G1,T2,G2
      WRITE(108,2)ALFA,T1,S1,E1,G1,T2,G2
      X = 0.0
      Y = 0.0
      Z = 0.0
      DO 5 J = 1,ND
      C = (D(J)*G1)/(2.0*S1)
      CALL SH(C,R)
      V=SQRT(D(J)**2+H(J)**2)
      X=X+V**2/D(J)
      Y=Y+V**3/D(J)**2
    5 Z=Z+(V*R)/D(J)
      C=SQRT(DL**2+HL**2)
      A=((T1-T2)*ALFA*C*X)/(DL*Y)+E1-(2.0*S1*
      C*Z)/(G1*DL*Y)
      B=(2.0*C)/(G2*DL*Y)
      CALL EC(A,B,G2,D,H,ND,DL,HL,NC,AI,S2,SS2,E2)
    3 CONTINUE
      STOP
      END

      SUBROUTINE EC(A,B,G2,D,H,ND,DL,HL,NC,AI,S2,
      SS2,E2)
      DIMENSION D(30),H(30),AI(10)
      CALL SMIN(A,B,G2,D,H,ND,DL,HL,NC,AI,XA)
      CALL F2(G2,DL,HL,XA,YA1)
      CALL F1(A,B,G2,D,H,ND,XA,E2)
      CALL F3(NC,AI,E2,YA2)
      IF(YA1-YA2)2,3,4
    3 S2=XA
      SS2=YA1
      GOTO 1
    4 S2=0
      SS2=0
      E2=0
      GOTO 1
    2 XB=XA+1
      CALL F2(G2,DL,HL,XB,YB1)
      CALL F1(A,B,G2,D,H,ND,XB,E2)
      CALL F3(NC,AI,E2,YB2)
      IF(YB1-YB2)6,7,8
    7 S2=XB
      SS2=YB1
      GOTO 1
    6 XA=XB
      GOTO 2
    8 X=0.5*(XA+XB)
      CALL F2(G2,DL,HL,X,YX1)
      CALL F1(A,B,G2,D,H,ND,X,E2)
      CALL F3(NC,AI,E2,YX2)
      IF(ABS(YX1-YX2)-0.1)9,9,10
    9 S2=X
      SS2=YX1
      GOTO 1
   10 CONTINUE
      IF(YX1-YX2)11,9,12
   11 XA=X
      GOTO 8
   12 XB=X
      GOTO 8
    1 CONTINUE
      WRITE(108,13)S2,SS2,E2
   13 FORMAT(' ','SO2=',E12.5,2X,'S2=',E12.5,2X,'EPS2=
      ',E12.5,//)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE F1(A,B,G2,D,H,ND,S2,E2)
      DIMENSION D(30), H(30)
      S=0.0
      DO 1 I=1,ND
      X=(D(I)*G2)/(2.0*S2)
      CALL SH(X, Y)
    1 S=S+(SQRT(D(I)**2+H(I)**2)*Y)/D(I)
      E2=(A+B*S2*S)*1000.0
      RETURN
      END
      SUBROUTINE SH(X,Y)
      A=-1.0*X
      Y=0.5*(EXP(X)-EXP(A))
      RETURN
      END

      SUBROUTINE F2(G2,DL,HL,S2,SS2)
      X=(DL*G2)/(2.0*S2)
      CALL SH(X,Y)
      SS2=SQRT(((G2*HL)/(2.0*Y))**2+S2**2)
      RETURN
      END

      SUBROUTINE SMIN(A,B,G2,D,H,ND,DL,HL,NC,AI,
      X)
      DIMENSION D(30),H(30),AI(10)
      S=10.0
    4 CONTINUE
      CALL F2(G2,DL,HL,S,YX1)
      CALL F1(A,B,G2,D,H,ND,S,E2)
      CALL F3(NC,AI,E2,YX2)
      IF(YX1-YX2)1,1,2
    1 X=S
      GOTO 3
    2 S=S/2.0
      GOTO 4
```

```
3 CONTINUE
  RETURN
  END

  SUBROUTINE F3(NC,AI,E2,SS2)
  DIMENSION AI(10)
  IF(E2-12)2,3,3
3 SS2=E2+8.7
  GOTO 4
2 CONTINUE
  SS2=AI(1)
  DO 1 I=2,NC
1 SS2=SS2*E2+AI(I)
4 CONTINUE
  RETURN
  END
```

Timpul de calcul al unei variante este de aproximativ 30 secunde.

Discuţii şi concluzii

Forma ecuaţiei (25) depinde de modul în care se doreşte să se efectueze calculul. Dacă se doreşte să se efectueze un calcul cu modul de elasticitate constant, ecuaţia (25) devine: $\sigma = E\varepsilon$, unde E este modulul de elasticitate. Dacă se doreşte un calcul pe curba de descărcare, forma ecuaţiei (25) este:

$$\sigma = E_f \varepsilon + (\sigma_A - E_f \varepsilon_A)$$

```
 .30000E+03   .21000E+01   .40000E+03   .60000E+01   .41000E+03
 .47000E+01   .41000E+03   .16000E+01   .38000E+03   .22000E+01
 .38000E+03   .10000E+00   .41600E+03   .24000E+01   .36400E+03
 .43000E+01   .36000E+03   .68000E+01   .40800E+03   .31000E+01
 .42200E+03   .27000E+01   .40700E+03   .28000E+01   .37100E+03
 .20000E+01   .38000E+03   .12000E+01   .42100E+03   .90000E+00
 .43000E+03   .10000E+01   .42100E+03   .30000E+01   .41500E+03
 .26000E+01   .40800E+03   .16000E+01   .39700E+03   .21000E+00
 .37300E+03   .36000E+01   -.52000E-02   .65600E-01   .16866E+01
 .00000E+00   .41000E+03   .47000E+01
 VARIANTA 1
 .17800E-04   -.30000E+02   .15480E+02   .84300E-02   .35110E-02
 -.50000E+01   .10135E-01
 SO2=.17875E+02   S2=.17876E+02   EPS2=.97607E+01
 VARIANTA 2
 .17800E-04   -.30000E+02   .15480E+02   .84300E-02   .35110E-02
 .15000E+02   .35110E-02
 SO2=.14500E+02   S2=.14501E+02   EPS2=.76757E+01
 VARIANTA 3
 .17800E-04   -.30000E+02   .15480E+02   .84300E-02   .35110E-02
 .40000E+02   .35110E-02
 SO2=.13750E+02   S2=.13751E+02   EPS2=.72746E+01
 VARIANTA 4
 .17800E-04   -.30000E+02   .15480E+02   .84300E-02   .35110E-02
 -.20000E+02   .35110E-02
 SO2=.15500E+02   S2=.15501E+02   EPS2=.82481E+01
 VARIANTA 5
 .17800E-04   -.50000E+01   .21520E+02   .13170E-01   .10135E-01
 -.30000E+02   .35110E-02
 SO2=.21125E+02   S2=.21126E+02   EPS2=.12336E+02
```

Datele şi rezultatele calculului sînt evidenţiate şi în tabelul următor:

Deschideri şi denivelări (în m)

d_0	H	d_0	H	d_0	H
300	2,1	364	4,3	421	0,9
400	6,0	360	6,8	430	1,0
410	4,7	408	3,1	421	3,0
410	1,6	422	2,7	415	2,6
380	2,2	407	2,8	408	1,6
380	0,1	371	2,0	397	0,21
416	2,4	380	1,2	373	3,7

În afara subrutinelor SMIN şi EC descrise în paragraful precedent, programul mai cuprinde următoarele subrutine:
SH care calculează sinusul hiperbolic;
F1 care calculează funcţia f_1
F2 care calculează funcţia f_2
F3 care calculează funcţia f_3

unde:

E_f este modulul de elasticitate final;
σ_A, ε_A — coordonatele punctului A de pe curba de încărcare corespunzător stării iniţiale.

Eroarea absolută admisă în calculele efectuate a fost $\eta = 0{,}1$. Pentru creşterea preciziei este necesară rescrierea programului în dublă precizie. De asemenea, se poate adăuga în subrutina EC o condiţie de oprire a procesului iterativ dacă

$$|XA - XB| \leqslant \eta_x,$$

în care η_x este eroarea admisă asupra variabilei independente.

Această condiţie nu este absolut necesară, dar ea poate micşora timpul de calcul în cazul întîlnirii anumitor valori numerice ale datelor.

Programul descris în prezenta lucrare este destinat utilizării în calculul de proiectare al

a_1	a_2	a_3	a_1
−0,0052	0,6656	1,6866	0

Mărimea	Varianta				
	1	2	3	4	5
α[1/°C]	$0,178.10^{-4}$	$0,178.10^{-4}$	$0,178.10^{-4}$	$0,178.10^{-4}$	$0,178.10^{-4}$
t_1[°C]	−30	−30	−30	−30	−5
σ_{01}[daN/mm²]	15,48	15,48	15,48	15,48	21,52
ε_1	$8,43.10^{-3}$	$8,43.10^{-3}$	$8,43.10^{-3}$	$8,43.10^{-3}$	$13,17.10^{-3}$
γ_1[daN/m.mm²]	$3,511.10^{-3}$	$3,511.10^{-3}$	$3,511.10^{-3}$	$3,511.10^{-3}$	$10,135.10^{-3}$
t_2[°C]	−5	15	40	−20	−30
$\gamma_2 \left[\frac{daN}{m \cdot mm^2}\right]$	$10,135.10^{-3}$	$3,511.10^{-3}$	$3,511.10^{-3}$	$3,511.10^{-3}$	$3,511.10^{-3}$
σ_{02}[daN/mm²]	17,875	14,500	13,750	15,500	21,125
σ_{m2l}[daN/mm²]	17,876	14,501	51,713	15,501	21,126
ε_2	$9,7607.10^{-3}$	$7,67.10^{-3}$	$7,27.10^{-3}$	$8,25.10^{-3}$	$12,33.10^{-3}$

conductoarelor liniilor electrice aeriene, fiind mai precis decît metoda utilizată actualmente. În cazul marilor traversări sau al unor încărcări meteorologice grele utilizarea programului descris aici se impune, căci metoda existentă dă rezultate cu erori mari.

Bibliografie

[1] Arie, A. A. ş. a. *Rețele electrice. Calculul mecanic*, Ed Tehnică, București, 1981

[2] Bachmann, K. H. ş. a. *Mica enciclopedie matematică*, Ed. Tehnică, București, 1980

(Primit la 27 iunie 1989, acceptat la 5 februarie 1990)

Aplicarea contactoarelor statice în cadrul sistemelor de compensare a factorului de putere cu condensatoare

Dr. ing. IOAN FELEA, dr. ing. TEODOR MAGHIAR, ing DAN CARȚIȘ, sing. FLORIAN DEMIAN, ing. NICOLAE DRĂGHICI*

Descriptori: compensare factor de putere

În prima parte a lucrării se prezintă eșantioane din diagramele mărimilor cos φ și Q, înregistrate pentru o serie de consumatori cu profiluri tehnologice diverse. Este indicată schema sistemului de înregistrare al mărimilor menționate și se dă o interpretare sintetică a diagramelor obținute. În continuare autorii descriu modul de lucru al contactorului static (CS), aplicat pentru racordarea la rețea a unei sarcini pur capacitivă, evidențiind relațiile de calcul al mărimilor electrice pe baza cărora se aleg dispozitivele semiconductoare din componența acestuia. Sînt indicate schemele bloc și modul de funcționare ale modulului de compensare și sistemului de compensare concepute de către autori. Sistemul de compensare cu CS are caracter modular, ușor configurabil și permite menținerea factorului de putere într-un domeniu restrins din jurul valorii neutrale, prin urmărirea, în timp real, a variațiilor lui cos φ și manevrarea cu mare viteză și frecvența necesară a bateriilor de condensatoare. Lucrarea prezintă avantajele sistemului cu CS față de sistemele aplicate actualmente, cu aparate de comutație electromecanice.

In the first part of the paper samples of the cos φ and Q quantities diagrams are presented, registered for a series of users with different technological profiles. The mentioned quantities registration system scheme is indicated and a synthetic interpretation of the obtained diagrams is given. Further, the authors describe the working manner of the static contactor, applied for the grid connection of a purely capacitive load, outlining the calculation relations of electric quantities on whose basis the semi-conductors devices from its composition are chosen. The block diagram and its operation manner of the compensation module and of the compensation system conceived by the authors are indicated. The modular static contactor compensation system is easy to configurate and enables the maintaing of the power factor with in a restricted area around the neutral value by surveying in real time the variations of cosφ and the high speed and frequency handling of condensers batteries. The paper presents the advantages of the system with static contactor as compared to the system applied at present, with electromechanic switching devices.

Necesitatea compensării puterii reactive este unanim recunoscută. Deși aspectele teoretice ale problemei respective sînt amplu reflectate în lucrările de specialitate [1, 2, 7, 8], nivelul practic de rezolvare nu poate fi caracterizat ca satisfăcător. Pot fi citate ca responsabile următoarele: tendința de supradimensionare a transformatoarelor și receptoarelor inductive, dotarea insuficientă cu mijloace de compensare

* Dr. ing. Maghiar Teodor, dr. ing. Felea Ioan, ing. Drăghici Nicolae — I. S. Oradea, ing. Carțiș Dan, sing. Demian Florian — I.R.E. Oradea.

și performanțele relativ reduse ale sistemelor de compensare a puterii reactive.

Lucrarea se înscrie în tendința actuală [1, 3, 4, 6], vizînd implementarea unor sisteme de compensare mai eficiente.

1. Reliefarea stadiului actual

În scopul edificării asupra situației compensării puterii reactive (Q) și a valorilor factorului de putere ($\cos \varphi$), în cadrul IRE Oradea s-a inițiat, în perioada martie-aprilie 1988, o campanie de măsurători. Pentru surprinderea cît mai exactă a valorilor momentane ale mărimilor (Q, $\cos \varphi$) s-a urmărit înregistrarea acestora cu ajutorul unui aparat de mare viteză. În acest sens s-a conceput și aplicat sistemul de înregistrare reprezentat schematic în figura 1.

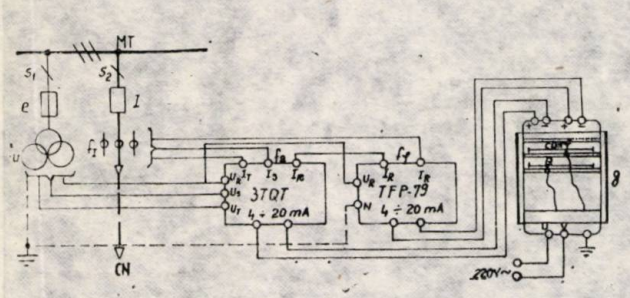


Fig. 1. Schema sistemului de înregistrare a mărimilor Q și $\cos \varphi$.

Mărimile urmărite sînt aplicate, sub formă de semnale unificate, înregistratorului (g) de tip ELR 462 cu viteza 240 mm/h [9], prin intermediul traductoarelor (f_Q, f_φ) care prelucrează semnalele recepționate de la transformatoarele de măsură (f_u, f_I). Remarcăm faptul că prezența transformatoarelor (f_u, f_I) și introducerea pe scară largă a traductoarelor (f_Q, f_φ), facilitează, în etapa actuală, aplicarea acestui sistem ca mijloc de verificare și prelevare de date atît pentru furnizorii de energie electrică, cît și pentru beneficiari. Etalonarea înregistratorului (g) s-a efectuat prin comparare cu indicațiile unor aparate analogice și digitale, indicatoare ale acelorași mărimi. Domeniul de sesizare a mărimii Q este practic nelimitat (la alegerea corectă a traductorului (f_Q), iar domeniul de sesizare a mărimii $\cos \varphi$ este impus de traductor (f_φ), fiind indicat ca o caracteristică a acestuia.

Prin intermediul sistemului menționat s-au efectuat înregistrări ale mărimilor urmărite, pe parcursul a 24 ore, la o serie de consumatori cu profiluri diverse. În figurile 2 și 3 se prezintă un eșantion din diagramele obținute la o parte din consumatori, pe durata a două ore. Pentru înregistrarea factorului de putere s-a dispus de traductorul (f_φ) cu domeniu [0,5 cap. $\pm$ 0,5 ind.].

Caracterizarea consumatorilor (CN), evidențiați prin diagramele din figurile 2, 3, din punctul de vedere al limitelor de variație a mărimilor (Q, $\cos \varphi$), este sintetizată în tabelul 1.

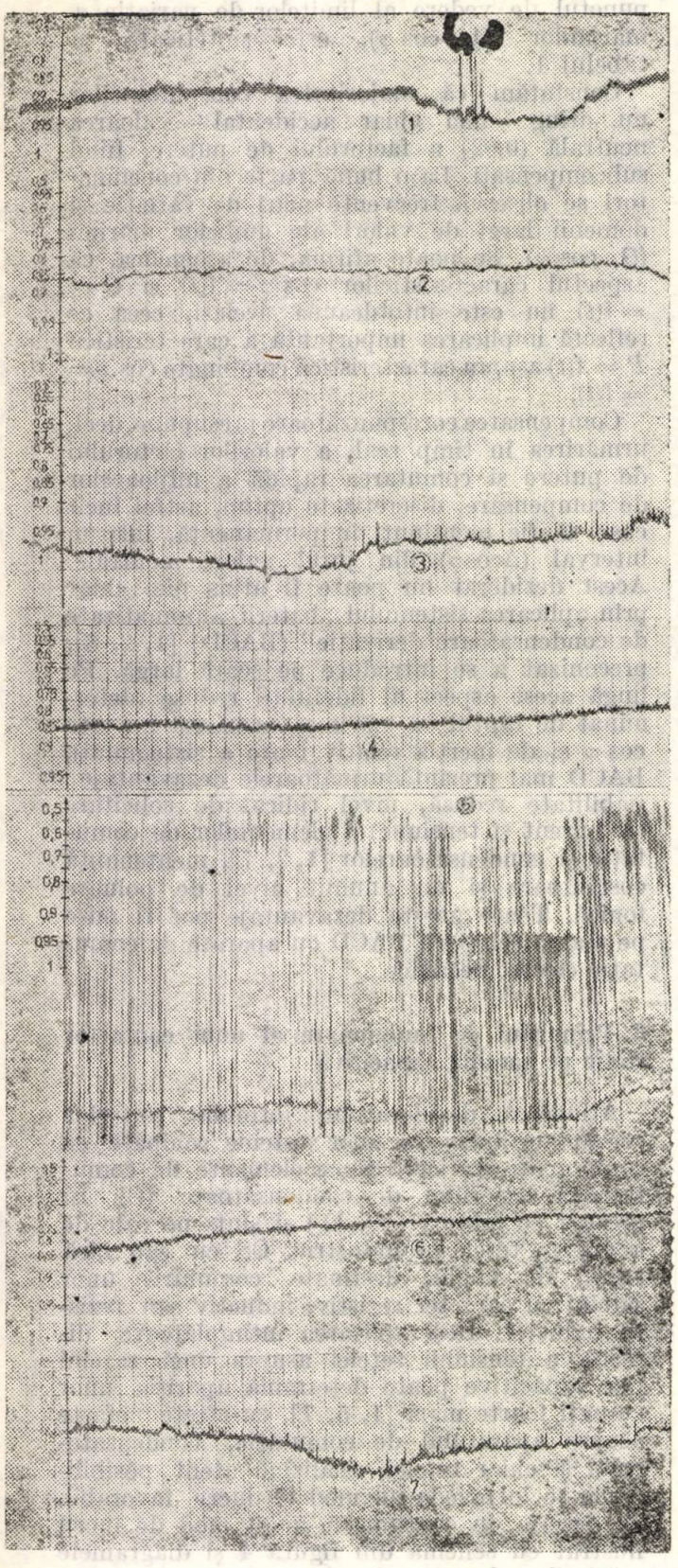
Constatăm că majoritatea consumatorilor nu ating — nici chiar accidental — valoarea neutrală (0,92) a factorului de putere, fiind subcompensați. La o bună parte din consumatori se observă frecvențe mari de variație și domenii largi de valori ale ambelor mărimi (Q, $\cos \varphi$). Se poate afirma, de asemenea, că aspectul caracteristicilor $\cos \varphi = f(t)$ și $Q = f(t)$ nu este întotdeauna același, ceea ce reflectă implicarea importantă a caracteristicii $P = f(t)$ asupra caracteristicii combinată $\cos \varphi = f(t)$.

Compensarea corespunzătoare presupune, deci, urmărirea în timp real, a valorilor factorului de putere și comutarea rapidă a mijloacelor de compensare, discretizate optim, astfel încît $\cos \varphi$ să fie menținut, în permanență, într-un interval ($\Delta \cos \varphi$) din jurul valorii neutrale. Acest deziderat nu poate fi atins nici chiar prin aplicarea sistemului „baterii automatizate de condensatoare derivație" (BACD) [1, 2, 8], preconizat a se introduce pe scară largă. Pe lîngă acest aspect al fidelității reduse (determinat de faptul că mărimea urmărită nu este $\cos \varphi$ și de inerția relativ mare a sistemului), BACD mai prezintă următoarele dezavantaje: fiabilitate redusă, nivel ridicat de solicitare (în curent și tensiune) a elementelor de comutație și condensatoarelor [1, 2, 7], mentenanță costisitoare și un anumit nivel de poluare fonică. Toate aceste dezavantaje pot fi puse pe seama echipării BACD cu aparate de comutație electromecanice.

2. Principiul de funcționare al unui contactor static pe sarcină capacitivă

Atingerea dezideratului formulat anterior presupune aplicarea unor sisteme echipate cu contactoare statice (CS) ca elemente de comutație a bateriilor de condensatoare (C). În prezent se fabrică [10, 11] și sînt pe cale de a cîștiga teren în industrie, CS cu sau fără reglaj de unghi, destinate comutării unor sarcini cu caracter rezistiv, inductiv sau rezistiv-inductiv. Deși aplicarea întîmplătoare, directă, a tensiunii rețelei asupra unei sarcini pur capacitive poate determina apariția unor curenți foarte mari [1, 5, 7], cu efecte nefaste asupra aparatului de comutație, condensatorului și chiar rețelei, analizînd atent posibilitățile se întrevede un mod de lucru favorabil. Se descrie, în continuare, acest mod de lucru ilustrat cu schema din figura 4 și diagramele mărimilor electrice (fig. 5).

Tiristorul T_1 va fi comandat astfel încît să intre în conducție atunci cînd tensiunea rețelei



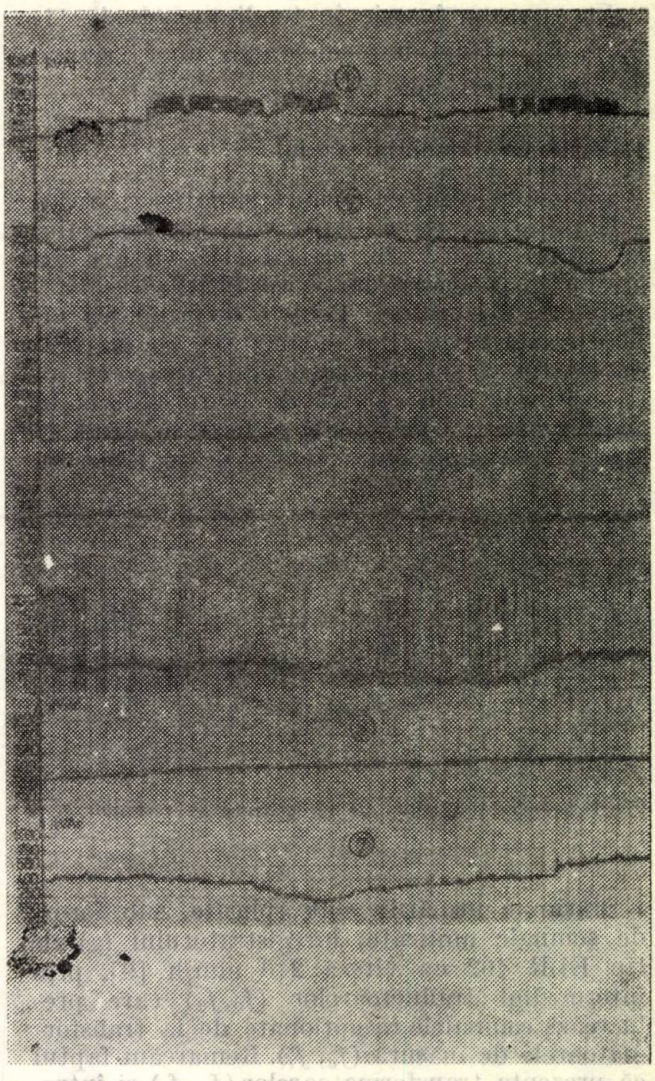


Fig. 3. Diagramele puterii reactive pe tipuri de consumatori.

Fig. 2. Diagramele factorului de putere pe tipuri de consumatori: 1—construcții de mașini; 2—din domeniul industriei ușoare; 3—din domeniul industriei alimentare; 4—utilitar (spitale, magazine etc.); 5—transport urban; 6—casnici; 7—consumator combinat (37% tip 1, 41% tip 2,9% tip 4, 11% tip 6 etc.).

Tabelul 1

Limite ale mărimilor caracteristice pe tipuri de consumatori

Tip consumator / Mărimi caracteristice	1	2	3	4	5	6	7
Domeniul de variaţie a lui cos φ pe întregul interval	0,77—0,92 ind.	0,65—0,80 ind.	0,02 cap 0,8 ind	0,83—0,90 ind.	0,50 cap 0,20 ind	0,81—0,90 ind.	0,72—0,94 ind.
Domeniul de variaţie a lui Q pe întregul interval	150—770 kvar	430—1050 kvar	0,7 cap 110 ind kvar	245—850 kvar	70 cap— 320 ind kvar	200—450 kvar	200—650 kvar
Durata minimă de menţinere a lui cosφ	1 min	30 s	30 s	12 h	20 s	12 h	30 s
Domeniul de variaţie a lui cos φ între perioade succesive de menţinere	0,77—0,87	0,65—0,70	0,89—1,00	0,83—0,90	0,50 cap.— 0,20 ind.	0,81—0,90	0,84—0,93

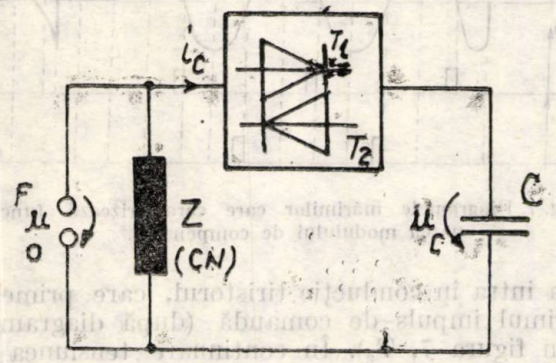


Fig. 4. Schema de principiu pentru racordarea la reţea a C prin CS; F ≙ (RUSUT).

are valoarea $u = 0$ (momentul $t_0 = 0$). În acest mod C se încarcă progresiv, fiind valabile relaţiile [5]:

$$u_c = u = U_m \sin \omega t, \qquad (1)$$

$$i_c = C\frac{du_c}{dt} = \omega\, CU_m \cos \omega t = \frac{U_m}{X_c}\cos \omega t.$$

Se observă că la momentul $t_1 = \pi/2\omega$, curentul se anulează, T_1 se blochează şi pe C este tensiunea $U_c = U_m$. În acest moment se va comanda tiristorul T_2, care are condiţii de intrare în conducţie, preluînd curentul i_c. Întrucît $u < U_c$, C se va descărca progresiv spre reţea (va furniza puterea reactivă acumulată), astfel încît permanent $u = u_c$. După momentul $t_2 = \pi/\omega$ (cînd $u_c = u = 0$; $i_c = -I_{cm}$), C se va încărca cu tensiune de polaritate inversă. Curentul i_c se menţine prin T_2 pînă în momentul $t_3 = 3\pi/2\omega$, după care este preluat de către tiristorul T_1 şi aşa mai departe.

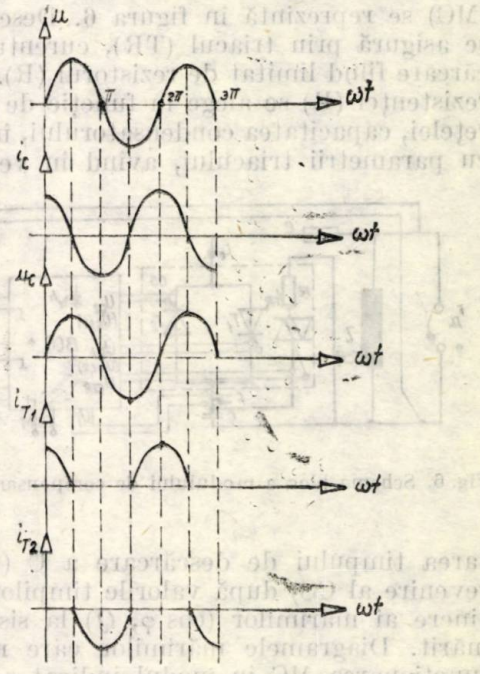


Fig. 5. Diagramele idealizate ale mărimilor principale.

Dacă se respectă programul de comutaţie menţionat elementele (C, T_1, T_2) sînt solicitate la nivelul minim. Astfel, tensiunea inversă pe tiristoare în funcţionare normală este foarte redusă (în momentul comutaţiei $u_c = u$), iar la blocarea CS tensiunea inversă maximă este

$Ui_{mT} = 2U_m$. Expresiile de calcul ale curenţilor: maxim (I_{mT}), mediu (I_{medT}) şi efectiv (I_T), prin tiristoare, sînt următoarele:

$$I_{mT} = i_c(\omega t = 0) = \frac{U_m}{X_c} = \sqrt{2}\omega \, CU =$$

$$= 8{,}88 \cdot f \cdot C \cdot U,$$

$$I_{med\,T} = I_{mT}/\pi \,;\; I_T = I_{mT}/2. \qquad (2)$$

Prin aplicarea modului de lucru menţionat solicitările de tip „viteză" (du/dt, di/dt) sînt reduse, ceea ce permite utilizarea CS fără bobine de limitare a vitezelor de variaţie a tensiunii şi curentului.

Încadrarea CS într-un sistem de compensare a puterii reactive presupune solicitarea acestuia la manevre frecvente. În momentul blocării CS (momentul în care $i_c = 0$) condensatorul rămîne încărcat la tensiunea maximă a reţelei ($+ U_m$ sau $- U_m$). Recuperarea şi redarea cît mai rapidă a CS pentru lucru în modalitatea descrisă, implică completarea circuitului energetic al acestuia cu o ramură de descărcare C. Schema bloc a unui modul de compensare (MC) se reprezintă în figura 6. Descărcarea C se asigură prin triacul (TR), curentul de descărcare fiind limitat de rezistorul (R). Valoarea rezistenţei (R) se alege în funcţie de tensiunea reţelei, capacitatea condensatorului, în corelaţie cu parametrii triacului, avînd în vedere limi-

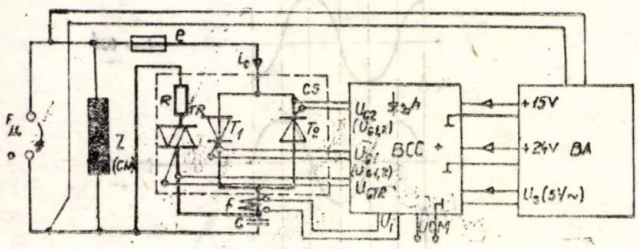


Fig. 6. Schema bloc a modulului de compensare cu CS şi C

tarea timpului de descărcare a C (timpul de revenire al CS) după valorile timpilor de menţinere ai mărimilor (cos φ, Q) la sistemul urmărit. Diagramele mărimilor care marchează funcţionarea MC în modul indicat s-au trasat în figura 7.

Subsistemul de comandă al MC cuprinde blocul de alimentare (BA) care furnizează tensiunile: + 15 V (stabilizat), + 24V (nestabilizat) şi 5 $V_\sim$ (de sincronizare, în fază cu tensiunea reţelei) şi blocul de comandă al CS (BCC) care este sincronizat şi prin tensiunea u_i (în fază cu i_c), preluată prin transformatorul de curent (f). BCC trimite impulsuri de comandă la componentele CS (T_1, T_2, TR).

Racordarea la reţea a C (intrarea în conducţie a CS) este comandată prin intrarea de comandă a BCC cu „1" logic ($u_{CM} = +15$ V), iar decuplarea prin „0" logic ($u_{CM} = 0$). Punerea sub tensiune a C este semnalizată la BCC (h). După trecerea semnalului U_{CM} în „1" logic, BCC eliberează impulsuri de comandă ($u_{G1,\,2}$) în grilele tiristoarelor (T_1, T_2), la fiecare trecere prin zero a tensiunii (u).

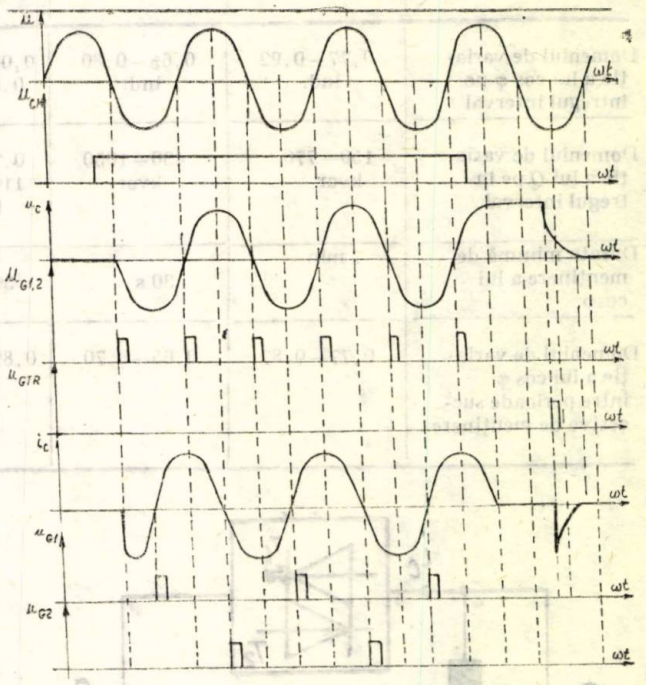


Fig. 7. Diagramele mărimilor care caracterizează funcţionarea modulului de compensare.

Va intra în conducţie tiristorul, care primeşte primul impuls de comandă (după diagramele din figura 7, T_2). În continuare tensiunea pe C urmăreşte tensiunea reţelei ($u_c = u$). La prima trecere prin zero a curentului (i_c), BCC generează impuls de comandă pentru celălalt tiristor (în cazul considerat T_1). Impulsurile generate la trecerile prin zero ale curentului $i_c(u_{G1},\ u_{G2})$ comandă efectiv tiristoarele T_1 şi T_2. Deşi impulsurile ($u_{G1,\,2}$) se generează în continuare, prezenţa acestora nu influenţează modul de funcţionare al MC întrucît, la aplicarea acestora, tiristoarele sînt în conducţie, fiind comandate deja prin impulsurile sincronizate cu curentul (u_{G1}, u_{G2}).

Procesul de compensare este stopat la basculare tensiunii u_{CM} în „0" logic, ceea ce determină blocarea impulsurilor ($u_{G1,\,2}$; u_{G1}; u_{G2}), întreruperea curentului (i_c) şi încărcarea C (la valoarea $+U_m$ sau $-U_m$, în funcţie de momentul basculării semnalului u_{CM}). La 11 ms de la trecerea lui u_{CM} în „0", logic, BCC generează impuls de comandă pentru TR (u_{GTR}) şi astfel C se descarcă prin R pregătind CS pentru reluarea funcţionării în modul descris.

Timpul de revenire al CS (t_{qCS}), curentul maxim, mediu și efectiv al triacului (I_{mTR}, I_{medTR}, I_{TR}) și respectiv tensiunea inversă maximă se pot evalua cu relațiile:

$$t_{qCS} = (10^{-2} + 3RC)s\,; \quad I_{mTR} = \frac{U_m}{R}\,;$$

$$U_{imTR} = U_m\,; \tag{3}$$

$$I_{medTR} = \frac{U_m}{T_m \cdot R}\int_0^{3RC} e^{-\frac{t}{RC}}\,dt\,;$$

$$I_{TR} = \frac{U_m}{R}\sqrt{\frac{1}{T_m}\int_0^{3RC} e^{-\frac{2t}{RC}}\,dt}, \tag{3}$$

T_m fiind perioada medie de manevră a CS.

Oscilogramele obținute la funcționarea unui MC care racordează la rețea un C cu capacitatea de 600 μF sînt date în figura 8.

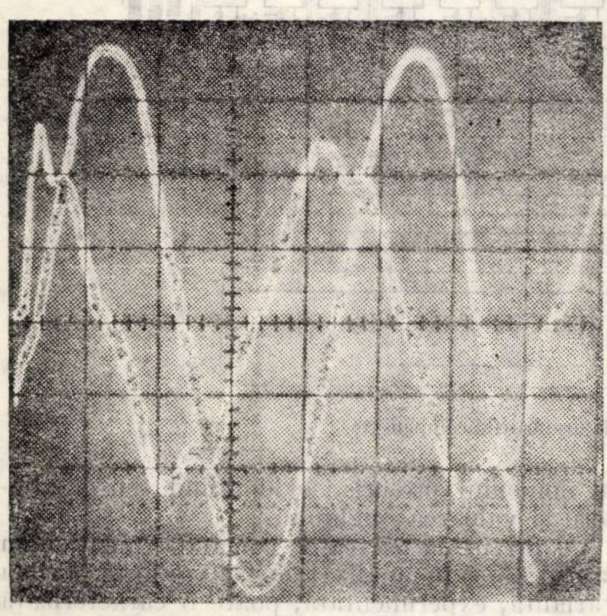


Fig. 8. Oscilogramele mărimilor u și i_c.

3. Descrierea sistemului de urmărire și compensare

Menirea sistemului (SUφCQ) este de a menține factorul de putere — într-o plajă cît mai restrînsă — în jurul valorii neutrale. Mărimea urmărită este cos φ, iar mărimea compensată este Q. Rezultate satisfăcătoare se obțin, în acest sens, prin utilizarea unui sistem care cuprinde patru grafuri de C cu valori ponderate (Q_1, $2Q_1$, $4Q_1$, $8Q_1$) [1, 2, 8]. O astfel de alegere ponderată a C permite operarea cu 15 trepte de compensare a puterii reactive (Q_1, $2Q_1$, ..., $15\,Q_1$).

Domeniul în care se poate menține factorul de putere (Δ cosφ), pentru un consumator dotat cu un SU φ CQ, este puternic influențat de puterea reactivă a treptei minime (Q_1). La evaluarea domeniului (Δ cosφ) se au în vedere diagramele din figurile 9 și 10.

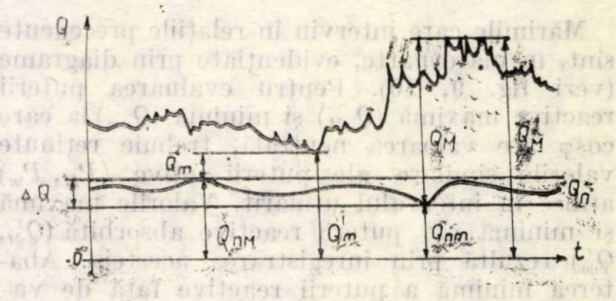


Fig. 9. Evidențierea unor mărimi de calcul în diagrama $Q = f(t)$.

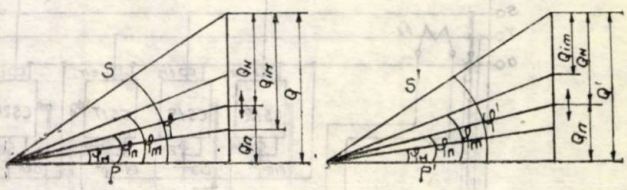


Fig. 10. Diagrama de fazori a puterilor: a—starea cu defazaj minim; b—starea cu defazaj maxim.

Puterea reactivă (Q_n) la care factorul de putere are valoarea neutrală (cosφ$_n$) este variabilă fiind influențată de valoarea puterii active (P).

Diagrama la fazori s-a reprezentat pentru două momente semnificative: momentul în care puterea reactivă necesară (Q_N) pentru aducerea factorului de putere la valoarea neutrală are o asemenea valoare încît prin introducerea treptei de putere reactivă cea mai apropiată (Q_{tM}) se atinge unghiul de defazaj minim (φ_M) pe parcursul perioadei de urmărire (fig. 10 *a*) și momentul în care se atinge unghiul maxim (φ_m) corespunzător treptei de putere reactivă (Q_{tm}) care aproximează în sens invers puterea necesară (fig. 10 *b*).

Relațiile care permit dimensionarea condensatoarelor, precum și evaluarea limitelor (cos φ_M, cos φ_m) și deci a domeniului de variație a factorului de putere sînt următoarele:

$$\begin{cases} Q_{nM} = P_M \operatorname{tg}\varphi_n\,; \quad Q_{nm} = P_m \operatorname{tg}\varphi_n \\ Q_m = Q'_m - Q_{nM}\,; \quad Q_M = Q'_M - Q_{nm} \\ \Delta Q_M = Q_M - Q_m = 15\,Q_1 \end{cases} \tag{4}$$

$$Q_N = \frac{Q(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_n)}{\operatorname{tg}\varphi} \tag{5}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_M = \left(1 - \frac{Q_{iM}}{Q}\right)\operatorname{tg}\varphi\,; \quad \operatorname{tg}\varphi_m = \left(1 - \frac{Q_{im}}{Q'}\right)\operatorname{tg}\varphi'$$

$$\Rightarrow \cos\varphi_M,\ \cos\varphi_m \text{ și } \Delta\cos\varphi = \cos\varphi_M - \cos\varphi_m. \tag{6}$$

Mărimile care intervin în relaţiile precedente sînt, în mare parte, evidenţiate prin diagrame (vezi fig. 9, 10). Pentru evaluarea puterii reactive maximă (Q_{nM}) şi minimă (Q_{nm}) la care $\cos\varphi$ are valoarea neutrală, trebuie reţinute valorile similare ale puterii active (P_M, P_m) atinse în intervalul urmărit. Valorile maximă şi minimă ale puterii reactive absorbită (Q'_M, Q'_m) rezultă prin înregistrarea acesteia. Abaterea minimă a puterii reactive faţă de valoarea neutrală (Q_m) se va compensa prin semnalele (u_{CMi}) al căror mod de acţiune a fost deja elucidat.

Fără a intra în detalii privind hardware-ul şi software-ul BUCφ, menţionăm faptul că acesta poate fi considerat ca fiind compus din trei părţi: traductorul de $\cos\varphi$, partea de afişare a lui φ şi partea de comandă. Traductorul sesizează atît valoarea, cît şi sensul abaterii lui $\cos\varphi$ (φ) faţă de valoarea neutrală (φ_n) permiţînd astfel comanda în sens corespunzător (crescător sau descrescător, după caz) a valorii capacităţii pusă în paralel cu CN. Traductorul evidenţiază faptul că valoarea $\cos\varphi$ este în domeniul ($\Delta\cos\varphi$), transmiţînd informaţia părţii de comandă, astfel încît — în această situaţie — starea semnalelor u_{CMi} să se menţină. Partea de afişare a BUCφ permite verificarea încadrării mărimii urmărită

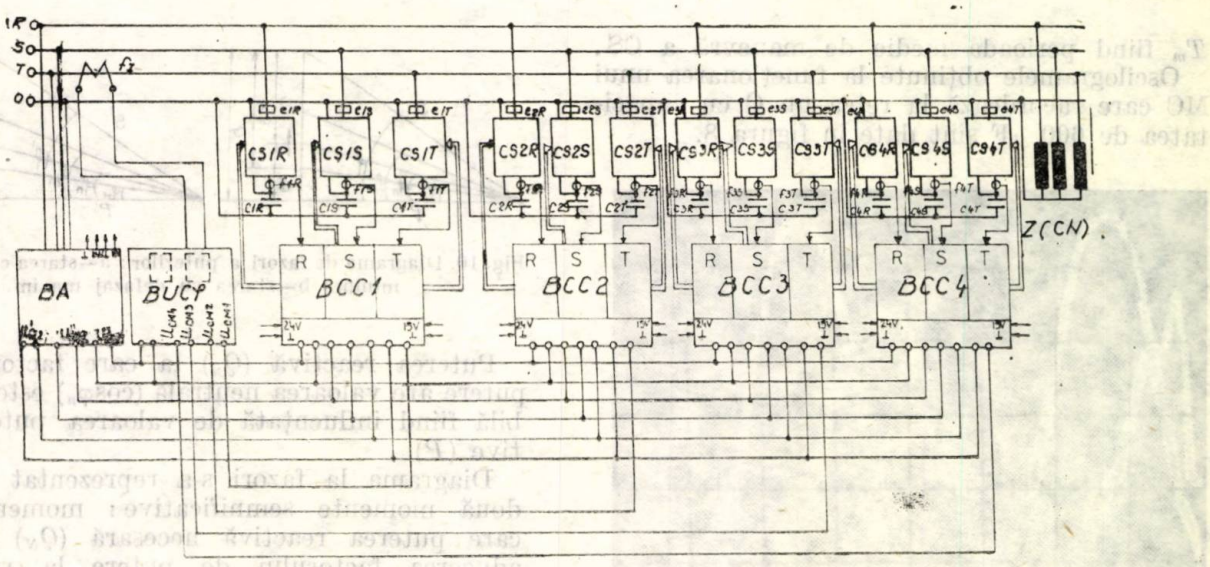


Fig. 11. Schema bloc a sistemului de urmărire şi compensare.

C fixe, sub supravegherea SU φCQ fiind pusă doar puterea variabilă cu valoarea maximă (ΔQ_M).

Schema bloc a SUφCQ se prezintă în figura 11. Faţă de blocurile din componenţa MC (multiplicate corespunzător pentru cele 3 faze şi 4 grafuri de C), în schemă se evidenţiază blocul de urmărire şi comandă a factorului de putere (BUCφ) care conduce activitatea sistemului. BUCφ urmăreşte continuu valoarea factorului de putere al ansamblului CN — SUφCQ prin intermediul impulsurilor de tensiune ($U_{G1,\ 2}$) sincronizate cu tensiunea reţelei şi a curentului secundar al transformatorului de curent f_I. Menţinerea lui $\cos\varphi$ în banda prestabilită prin calcul şi prescrisă la BUCφ ($\Delta\cos\varphi$), se face prin comanda corespunzătoare, emisă de către BUCφ, prin intermediul BCCi, asupra CSiF. Comenzile de la BUCφ se transmit prin în domeniul prescris, evidenţiind sensul abaterii şi valoarea unghiului.

Cu privire la partea de comandă menţionăm faptul că s-au analizat două variante. Prima variantă, experimentată, poate fi caracterizată prin aceea că determină un mod de lucru prin „tatonare" a SU φCQ. Astfel, în acest caz, la ieşirea lui $\cos\varphi$ din domeniu, BUCφ efectuează redresarea prin comanda comutării succesive a treptelor de C, în ordine crescătoare, pînă la reintrarea în domeniu ($\Delta\cos\varphi$). Varianta a doua presupune transformarea BUCφ într-un subsistem de urmărire, calcul şi comandă (SSUCCφ), care să înglobeze un bloc de calcul, facilitînd următorul mod de lucru „adaptiv". La ieşirea lui $\cos\varphi$ din domeniu se va reţine valoarea φ a unghiului (corespunzătoare la puterea reactivă absorbită Q), se testează comportarea la introducerea treptei de testare

(Q_t) și se reține valoarea (φ_t) a unghiului în această stare.

Se recomandă testarea cu treapta minimă (Q_1). Valoarea puterii de compensat (Q_N) se determină cu relația:

$$Q_N = \frac{Q_t(\mathrm{tg}\varphi - \mathrm{tg}\varphi_n)}{\mathrm{tg}\varphi - \mathrm{tg}\varphi_t}. \quad (7)$$

Se comandă comutarea treptei avînd valoarea puterii reactive (Q_{im}, Q_{iM}) cea mai apropiată de Q_N. Acest mod de lucru este aplicabil la depășirea oricărei limite a domeniului mărimii $\cos\varphi$.

Integrarea unui SSUCCφ, cu microprocesor, în structura SUφCQ permite operarea în modalitatea menționată și, totodată, simplificarea structurii BCCi. Concepția modulară, pentru fiecare fază, a CSiF și BCCi este profitabilă atît sub aspectul producerii echipamentului, cît și al mentenanței. O astfel de realizare permite — printr-o adaptare corespunzătoare a BUCφ (SSUCCφ) — chiar și compensarea adecvată (dezechilibrată pe faze) în cazul consumatorilor cu dezechilibru pregnant. Față de MC în cadrul SUφCQ, pentru simplificarea BCCi, generatorul impulsurilor ($u'_{G1,\,2}$) s-a înglobat în BA.

Avînd în vedere performanțele actuale ale tiristoarelor indigene (V_{RRM} — [5]), se pot realiza SUφCQ racordabile la barele de JT ale transformatoarelor sau grupurilor de transformatoare de MT/JT care funcționează în paralel. Bateriile de condensatoare vor fi dimensionate pe baza diagramelor [$Q = f(t)$; $\cos\varphi = f(t)$; $P = f(t)$], înregistrate pe partea de MT, astfel încît să fie incluse și pierderile de putere în transformatoare și deci valoarea neutrală a factorului de putere să caracterizeze bara de MT. Odată cu punerea la punct a tiristoarelor indigene de MT-ceea ce reprezintă un deziderat care va fi atins în următorii ani — SUφCQ vor fi construite și pentru MT. Față de BACD, prin aplicarea SUφCQ se obțin următoarele avantaje: economii de energie electrică (SUφCQ este mult mai fidel decît alte sisteme) și reducerea cheltuielilor de exploatare.

Concluzii

Evoluția în timp a mărimilor care reflectă caracterul sarcinii la consumatori (Q, $\cos\varphi$, P) poate fi reținută prin intermediul unui sistem de înregistrare cu viteză mare, compus din module fabricate curent. Diagramele Q(t) și $\cos\varphi$(t) denotă funcționarea majorității consumatorilor la factor de putere subneutral, frecvențe mari de variație și domenii largi de valori ale mărimilor (Q, $\cos\varphi$). Urmărirea în timp real a factorului de putere, în scopul menținerii permanente a acestuia în jurul valorii neutrale, reclamă aplicarea unor sisteme de urmărire și compensare (SUφCQ) echipate cu elemente de comutație statice. Prin comanda adecvată a contactoarelor statice (CS) din componența SUφCQ se asigură atît o fidelitate ridicată a sistemului, cît și comutarea directă a bateriilor de condensatoare (C) în condiții de solicitări minime ale CS și C.

Sistemul conceput și experimentat are caracter modular, ușor configurabil, este implementabil în două moduri de lucru prin „tatonare" sau „adaptiv" permițînd, prin aplicare, obținerea unor importante economii energetice și materiale.

Bibliografie

[1] Albert, H., Florea, I. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale.* Ed. Tehnică, București, 1987.

[2] Balaurescu, D., Eremia, M. *Îmbunătățirea factorului de putere.* Ed. Tehnică, București, 1981.

[3] Eremia, G. M. ș. a. *Metodă și sistem de comandă în rețelele electrice de distribuție industriale.* Brevet de invenție, 95438/1988.

[4] Iacenko, A. A. *Kompensacija kolebanij naprjaženija v elektrjčeskih setjah tiristornymi istočikami reaktivnoj moščonosti.* În: Promîšlennaia energhetika, nr. 9/1987, p. 20 ÷ 25.

[5] Kelemen, A. ș. a. *Mutatoare. Aplicații.* E.D.P., București, 1980.

[6] Ponomarev, V. A. ș. a. *Rezultaty vnedrenija tiristornogo kompensatora reaktivnoj moščnosti v sistemah electrosnabženija metallurgičeskih predprijatija.* În: Promîšlennaia energhetika, nr. 4/1987, p. 51 ÷ 54.

[7] Râulescu, I., Lăzărescu, R. *Conectarea bateriilor de condensatoare.* În: Electrotehnica, nr. 4/1976, p. 105 ÷ 110.

[8] M.E.E.—PE 031—85. *Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele electrice și la consumatori.* ICEMENERG, București, 1985.

[9] * * * *Instruments and equipments for automation.* Catalog FEA, București, 1981.

[10] * * * *Contactoare statice trifazate de putere.* Catalog IPRS, București, 1987.

[11] * * * *Sistem de comandă și reglare tip SCR—CCR—01.* Cartea tehnică, IPRS, București, 1983.

(Primit la 29 iunie 1989, acceptat la 19 septembrie 1989)

NOI DISPOZITIVE DE ELECTROSECURITATE REALIZATE ÎN ICEMENERG

Dr. ing. LAURENȚIU MIRON GOIA, ing. CONSTANTIN PANTAZI *

Descriptori: electrosecuritate

În lucrare se prezintă unele dintre cele mai recente realizări românești de dispozitive de electrosecuritate, utilizate la lucrările efectuate cu scoaterea de sub tensiune a instalațiilor de medie și joasă tensiune.

Se fac referiri la cleștele de manevrare a siguranțelor fuzibile și a panourilor izolante, indicatoarele de corespondență a fazelor și de prezența tensiunii, panoului izolant pentru istalațiile de medie tensiune (MT: 6...20kV), precum și la indicatorul de prezența tensiunii și de succesiune a fazelor pentru instalațiile de joasă tensiune.

Se indică principiile de funcționare, domeniul de utilizare, și principalele cerecteristici tehnico-economice ale aparatelor concepute și introduse în fobricație de serie în ICEMENERG București.

The latest devices of power safety improvement designed by ICEMENERG in order to be used for getting the low and mean voltage equipment out from under voltage form the object of the present paper.

The voltage and phase correspondence gauges, the tongs for fuse and isolating panels handling, the isolating panel for the mean voltage equipment (MV: 6...20 kV), as well as the voltage and phase sequence gauges for the low voltage equipment are described.

Finally, the authors define the operating principles, the application range and the main technical economical characteristics of these apparata designed and manufactured by ICEMENERG of Bucharest.

Introducere

În cadrul Institutului de Cercetări și Modernizări Energetice — (ICEMENERG) al Ministerului Energiei Electrice a existat o preocupare constantă pentru asigurarea condițiilor de muncă fără pericol la lucrările executate cu scoaterea de sub tensiune în instalații electrice.

În acest sens s-au depus eforturi pentru elaborarea unor dispozitive tehnice — mijloace de protecție a muncii — utilizabile la aceste lucrări, fiabile, ușor manevrabile și sigure în exploatare.

Cu toate că asigurarea corelațiilor optimale între cerințele menționate este de obicei de mare dificultate s-a reușit în bună măsură să se atingă acest deziderat la cîteva din dispozitivele concepute și fabricate în ultima perioadă.

În cele ce urmează se prezintă unele din dispozitivele de electrosecuritate realizate în ICEMENERG pentru instalații de medie și joasă tensiune (0,4...35 kV) care au intrat în producție de serie în ultima perioadă. Este vorba de indicatoarele de tensiune și de corespondența fazelor pentru 6...20 kV, dispozitivele de descărcare a sarcinii remanente a condensatoarelor, cleștele de manevrare a siguranțelor și panourilor electroizolante pentru cuțitele separatoarelor, indicatoarele bipolare și verificatoarele de succesiune a fazelor pentru joasă tensiune.

1. Indicatoarele de medie tensiune (6...35 kV)

Indicatoarele de prezența tensiunii și de verificare a corespondenței fazelor cunoscute și frecvent utilizate în exploatare sînt realizate cu semnal luminos, de obicei cu becuri cu neon. La indicatoarele de corespondență a fazelor, becul se înseriază cu rezistențe de divizare, iar la cele de prezența tensiunii cu un condensator static și un interval de eclatare avînd rolul de sporire a emisiei luminoase. Indicatoarele de tensiune fabricate în România pînă în prezent, foloseau ca element sesizor becul cu neon de joasă tensiune care are o vizibilitate slabă. De asemenea, becurile cu neon ce constituie sursa luminoasă sînt cilindrice, fapt ce complică soluțiile constructive, înrăutățind calitățile ergonomice și valoarea informației.

Principalul element nou al indicatoarelor de tensiune medie realizate în ICEMENERG este combinarea semnalului luminos dat de becul cu neon cu un semnal sonor, produs de un difuzor (o cască telefonică). Cele două semnale sînt complet independente. Semnalul luminos este preluat fie prin divizor rezistiv (la indicatorul de corespondență a fazelor ICF), fie prin cuplaj capacitiv între instalație și o armătură metalică (condensator) al cărui curent de încărcare produce iluminarea becului cu neon. La indicatorul de tensiune fonic și luminos (IFLU) semnalul sonor este generat de un circuit electronic (oscilator cu frecvența de aproximativ 2000 Hz) alimentat fie direct din circuit (la ICF), fie de la o sursă de curent continuu (baterie de 4,5 V c.c.).

În afară de aceasta, la ambele tipuri de indicatoare becul cu neon de IT (500 V tensiune de amorsare) este fasonat circular, fiind montat în locașul dintre suportul izolant și un con deflector, care îmbracă suportul. Peste becul cu neon este plasat un dispersor de lumină de forma unui inel circular, care în secțiune are forma unei lentile plan-convexe.

* Dr. ing. Laurențiu Miron Goia, ing. Constantin Pantazi — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

Astfel, se conferă produsului calităţi ergonomice superioare şi o bună vizibilitate a sursei luminoase. Combinarea celor două semnale, sonor şi luminos, asigură redondanţă informaţiei şi permite ca aceasta să fie recepţionată de toată echipa de lucru, eliminînd şansa unor erori la asigurarea zonei de lucru şi/sau de protecţie la lucrări (fig. 1).

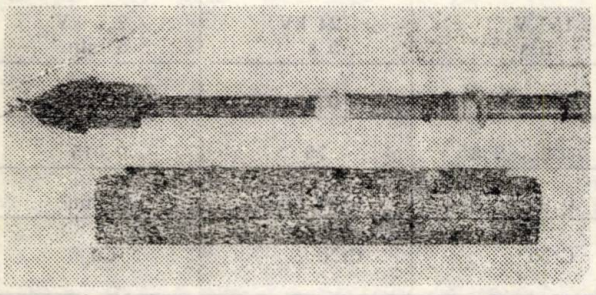


Fig. 1

Constructiv, indicatoarele de tensiune fonice şi luminoase de MT sînt realizate ca mijloace principale pentru detectarea prezenţei tensiunii. La indicatorul fonic şi luminos de tensiune IFLU 6...35 kV elementele sesizoare sînt aşezate în vîrful unui suport electroizolant telescopic, avînd lungimile corespunzător limitelor admise la apropierea de instalaţii (0,7 m la 6—10 kV; 0,8 m la 15—20 kV; 0,9 m la 35 kV) marcate cu bandă roşie pe tub.

Însemnele mînerului de apucare şi ale zonei limită pentru mîini şi inscripţiile esenţiale pentru exploatare corectă a produsului sînt înscrise pe suport cu deosebită claritate.

Indicatorul de corespondenţă a fazelor (ICF) de 6—20 kV are doi suporţi izolanţi realizaţi de asemenea telescopic. În vîrful unui suport este plasat sesizorul luminos (bec cu neon circular de I.T.), iar în vîrful celuilalt, sesizorul sonor (oscilator electronic). Între cele două sesizoare şi partea de instalaţie în care se face verificarea sînt intercalate divizoare rezistive introduse în două vîrfare din tub PVC realizate astfel încît în timpul transportului şi depozitării pot fi introduse în interiorul suporţilor izolanţi. În aceste condiţii transportul, depozitarea şi manevrarea aparatului sînt deosebit de facile (fig. 2).

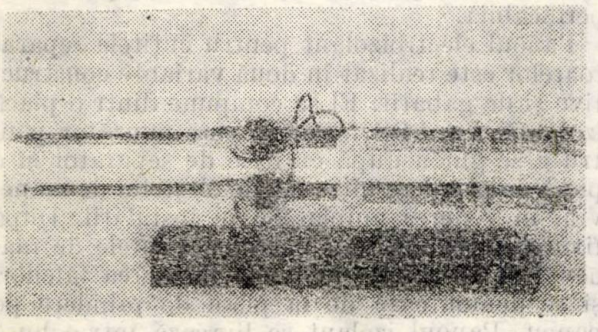


Fig. 2

Sensibilitatea indicatoarelor de medie tensiune este corespunzătoare reglementărilor din norme. Primul semnal apare la o tensiune de 1,5 kV faţă de pămînt în instalaţia verificată (sau între cele două puncte între care se face verificarea), iar ambele semnale la tensiunea de 3,5 kV.

Intensitatea semnalelor este de peste 20 lux respectiv 30 db. Tensiunea de încercare a suporţilor izolanţi este de 3 U_N, dar minimum 40 kV.

Indicatoarele de medie tensiune se pot utiliza în instalaţii interioare în orice condiţii, iar în exterior numai în cazul lipsei precipitaţiilor (ploaie, zăpadă).

Aspectul indicatoarelor de tensiune medie este prezentat în figurile 1 şi 2.

2. Dispozitive de lucru în instalaţii

2.1. Dispozitiv de descărcare a sarcinii remanente la M.T. (DDC-MT)

Bateriile de condensatoare pentru compensarea puterii reactive montate în instalaţiile de 110 kV/MT au în general instalaţii fixe de descărcare automată a sarcinii remanente la scoaterea de sub tensiune a bateriei. Pentru a evita deteriorarea condensatoarelor la aplicarea scurtcircuitoarelor mobile sau accidentele în cazul unor intervenţii la elementele bateriei în cazul defectării instalaţiei automate de descărcare sau ca urmare a fenomenului de relaxaţie a dielectricului condensatoarelor, s-a considerat necesar că se folosească şi dispozitive portabile de descărcare.

Un astfel de dispozitiv este compus din următoarele elemente:

— ştanga izolantă, corespunzătoare tensiunii nominale a instalaţiei (SDC);

— rezistenţa de descărcare pentru baterie (RB);

— rezistenţa de descărcare condensator (element) (RC);

— scurtcircuitor mobil pentru element (SC).

Pentru a descărca elementele după încercarea lor profilactică cu tensiune mărită, după operaţii de revizii curente sau reparaţii se utilizează o altă rezistenţă de descărcare care are o bornă legată la pămînt (RIP) şi care se montează pe aceeaşi ştangă izolantă ca celelalte rezistenţe RB şi RC.

Deoarece în cadrul bateriilor de condensatoare există pe fiecare fază mai multe condensatoare legate în serie, punerea la pămînt a fazelor şi nulului stelei înseamnă practic numai descărcarea armăturilor exterioare ale lanţului de condensatoare, celelalte armături izolate de acestea rămînînd încărcate cu sarcină periculoasă pentru operatorul care va lucra la unul din aceste condensatoare.

Tabelul 1

Date tehnice DDC

Ştanga SDC		Rezistenţă baterie RB	Rezistenţă condensator RC	Rezistenţă profilaxie RIP	Scurt circuitor element SC
Tensiune (curent) nominal	20 kV	50 A 2,5 kV	50 A 150 V	480 A 24 kV	10 A 150 V
Tensiune de încercare, U_i	72 kV 5 minute	2,5kV 5 s	150 V 5 s	24 kV 5 s	2,5 kV 5 min
Timp de descărcare	—	0,1 s	0,1 s	0,1 s	0,1 s
Rezistenţă ohmică	—	39	2...2,8	75	0,015
Secţiunea conductorului	—	0,5 mm²	0,80 mm²	0,80 mm²	2,5 mm²
Material	PVC	CrNi	CrNi	CrNi	Cu

Din această cauză descărcarea şi punerea la pămînt a condensatorului la care se lucrează sînt obligatorii. Acest lucru se realizează cu scurtcircuitorul mobil pentru element SC.

Condiţiile principale de proiectare stabilite pentru dispozitivul de descărcare al sarcinilor remanente ale condensatoarelor au fost următoarele :

— utilizarea lor să nu prezinte pericol pentru operatori sau pentru instalaţii ;

— timpul de descărcare să fie sub 0,5 s ;

— curentul de descărcare a bateriei de la tensiunea nominală să fie mai mic decît curentul de şoc admis de condensatori, indiferent de tipul acestora ;

— încălzirea rezistenţelor de descărcare şi a suportului pe care acestea sînt înfăşurate în timpul operaţiilor de descărcare să fie sub 70°C.

În condiţiile în care dispozitivele de descărcare se folosesc o singură dată la operaţiile de descărcare a bateriilor în decurs de două ore, caracteristicile principale ale elementelor DDC au rezultat cele din tabelul 1. Aspectul DDC—MT este cel din figura 3.

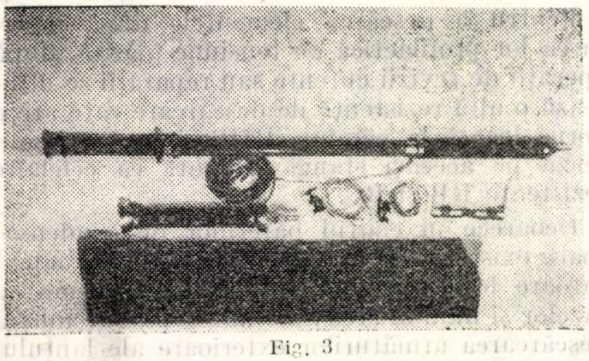


Fig. 3

Piesele componente ale DDC—MT se introduc într-o cutie adecvată pentru transport şi depozitare.

2.2. Cleştele de manevrare a siguranţelor fuzibile (CMPS) şi a panourilor izolante pentru cuţitele separatoarelor (PECS) de medie tensiune

Cleştele de manevră este realizat în conformitate cu normele de protecţie a muncii pentru lucrări în instalaţii şi are următoarele destinaţii :

— înlocuirea sub tensiune, prin metoda „la distanţă" a patroanelor fizibile ale siguranţelor de „MT" din celulele de măsură la care nie fiind separatoare de bare nu se poate face asrgurarea zonei de lucru conform prevederilonormelor ;

— manevrarea panoului electroizolant tip PECS 6—20 kV destinat montării între cuţitele separatoarelor, în poziţia deschis, în vederea preîntîmpinării apariţiei tensiunii în zona de lucru prin manevre greşite sau eventuale supratensiuni în instalaţii.

Cleştele de manevră este compus dintr-o clemă de prindere izolantă, avînd două fălci care se deschid şi închid prin răsucirea unui şurub tip melc şi o prăjină de manevrare din tub PVC cu ajutorul căreia se face răsucirea şi strîngerea fălcilor, pînă la blocarea pe mînerul panoului sau patronul siguranţei fuzibile.

Cleştele de manevrare se introduce într-o husă de transport şi depozitare din pînză impermeabilă.

Panoul electroizolant pentru cuţitele separatoarelor este realizat în două variante constructive şi de gabarit. El se compune dintr-o placă izolantă din ABS fasonată corespunzător pentru a se ghida după cuţitele de separator şi o piesă de prindere între fălcile cleştelui de manevră, în vederea amplasării în instalaţii. După fixarea între cuţite a panoului cleştele de manevră se răsuceşte pentru deschiderea fălcilor, şi se demontează de la piesa de prindere pe panou. Panoul izolant se livrează într-o husă

de transport. Panoul se livrează numai împreună cu cleștele de manevră.

Tensiunea de încercare a prăjinii izolante a cleștelui de manevrare este de 72 kV, iar tensiunea de străpungere a panoului izolant trebuie să depășească 55 kV.

Aspectul cleștelui de manevră se poate observa în figura 4.

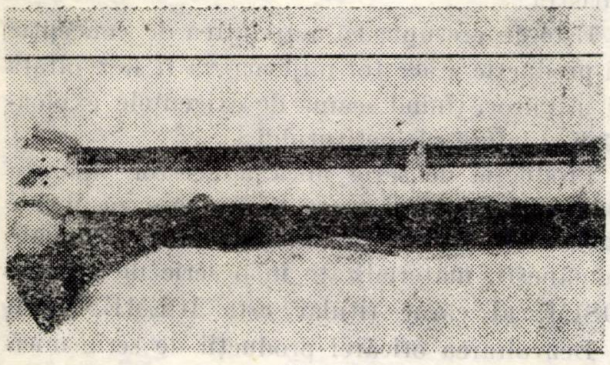


Fig. 4

3. Indicatoare pentru instalații de joasă tensiune

În instalațiile de distribuție interioare de joasă tensiune se folosesc în România indicatoare de prezența tensiunii cu becuri cu neon de tip monopolar (creion de tensiune). În rețelele exterioare aceste dispozitive au dezavantaje importante cum ar fi: vizibilitatea slabă a semnalului în condiții de lumină puternică, nefuncționarea în cazul operatorului izolat față de sol, distanțe mici ale operatorului față de instalație etc.

Din acest motiv s-au realizat o serie de indicatoare specifice activității din MEE, neafectate de condițiile de izolare a operatorului și de intensitatea luminii ambientale. Aceste indicatoare dau și alte informații pe lîngă indicarea simplei prezențe a tensiunii, oferind și delimitarea tensiunii după valoare (110, 220, 380 V) și indicînd și succesiunea fazelor într-un sistem trifazat etc. Un element original al produsului este acela că semnalul lor luminos este dublat de unul sonor de circa 50 dB, oferit de un electromagnet-zummer. În acest caz, indicatorul trebuie folosit în schema bipolară. La tensiunea de 110 kV se aprinde o singură casetă luminoasă, la 220 V două, iar la 380 toate cele trei casete ale indicatorului. Acestea sînt luminate de becuri cu neon de joasă tensiune, legate în paralel cu rezistențele înseriate în circuit, astfel ca aprinderea becului să se facă la tensiunea dorită.

Indicatorul bipolar are un circuit independent pentru verificarea succesiunii fazelor (o schemă RC cu un bec cu neon), folosit în schema bipolară. Evident indicatorul bipolar de joasă tensiune poate fi folosit și la verificarea corespondenței fazelor.

Pentru verificarea succesiunii fazelor în schema trifazată s-au realizat două aparate moderne cu diode luminiscente care înlocuiesc actualul sistem ce se bazează pe discul de aluminiu rotit de cîmpul învîrtitor dat de trei bobine induc-

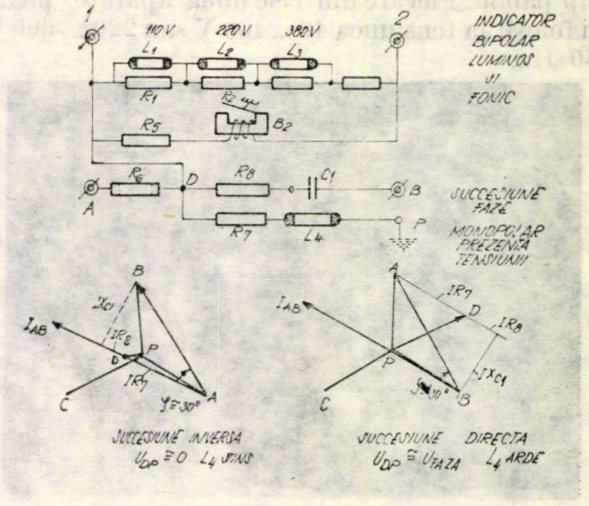


Fig. 5. Schema de principiu și diagramele vectoriale la indicatorul de succesiune a fazelor (IBJT) 110...380 V

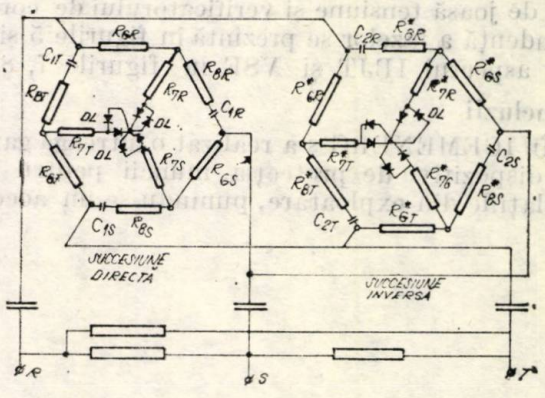


Fig. 6. Schema de principiu a indicatorului tripolar de succesiune a fazelor VSF 40...660 V.

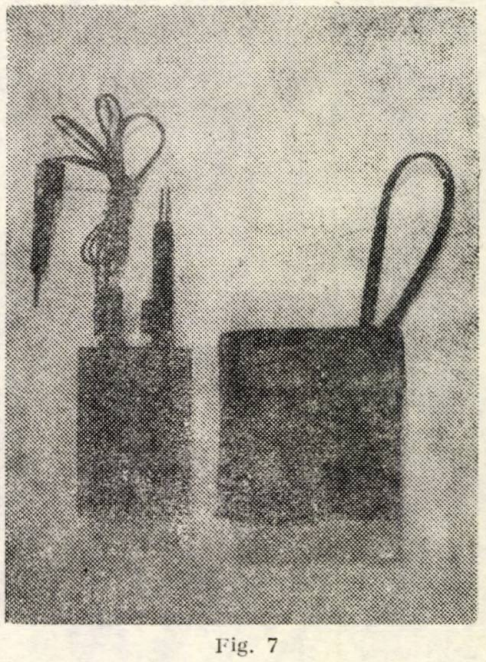


Fig. 7

toare. Deoarece nu au piese în mișcare, cele două aparate sînt mult mai fiabile și rezistente. Unul din ele este de tip mobil, celălalt este de tip panou. Fiecare din cele două aparate poate fi folosit la tensiunea 40 ... 400 V sau 220 ... 660 V 50 Hz.

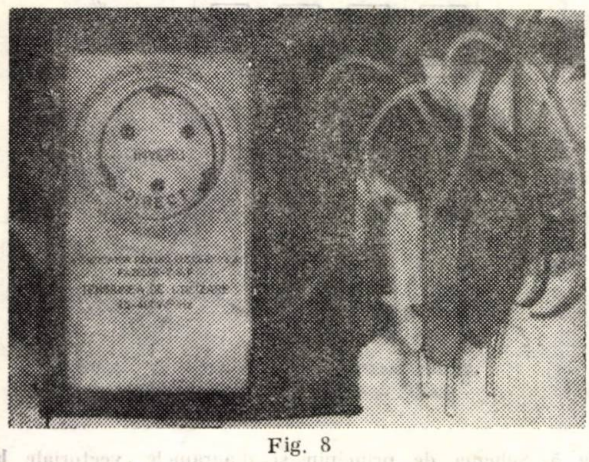


Fig. 8

Schemele de principiu ale indicatorului bipolar de joasă tensiune și verificatorului de corespondență a fazelor se prezintă în figurile 5 și 6, iar aspectul IBJT și VSF în figurile 7, 8.

Concluzii

În ICEMENERG s-a realizat o întreagă gamă de dispozitive de protecția muncii pentru instalațiile din exploatare, punîndu-se un accent special pe cele pentru medie tensiune. În acest mod se asigură condiții mai bune din punctul de vedere al securității muncii. Echipamentele concepute au un grad ridicat de tipizare și corespund recomandărilor CEI, precum și standardelor și normativelor în vigoare în țara noastră.

Este de presupus că activitatea de concepție și producție a acestor mijloace va fi dezvoltată și în viitor, ținînd seama de exigențele exploatării și interesul institutului.

Producția de serie mică a acestor aparate folosite în sectorul energetic se bazează în cele mai multe cazuri pe soluții tehnice originale românești, materializate în o serie de brevete OSIM, al căror titular este ICEMENERG.

Dezvoltarea oricărei producții de serie mică este legată de dificultăți de asimilare care nu au fost întotdeauna ușor de înlăturat. Necesitatea tipizării, a reducerii subansamblurilor și sortimentelor de elemente a necesitat eforturi sporite ale unui colectiv restrîns ce s-a ocupat de realizarea lor materială.

(Primit la 14 martie 1990, acceptat la 9 mai 1990)

Comparaţie între ciclul Brayton realizat cu maşini cu piston şi ciclul ITG cu ardere la volum constant în vederea folosirii în energetica solară

Conf. dr. ing. STOIAN PETRESCU, as. ing. MONICA COSTEA, as. ing. ROXANA IORDACHE*

Descriptori: ciclu Brayton, ciclu ITG, energie solară

În domeniul puterilor mici, în care randamentele interne ale maşinilor rotative care realizează un ciclu ITG cu ardere la volum constant scad foarte mult, se încearcă revitalizarea ciclului Brayton realizat cu maşini cu piston (ale căror randamente interne au crescut datorită tehnologiilor avansate) în vederea conceperii unui motor cu ardere externă folosind surse neconvenţionale de energie. Studiul a avut drept scop compararea randamentelor efective ale celor două cicluri, în condiţiile aceleiaşi temperaturi a agentului termic la intrarea în turbină, respectiv în detector, odată cu variaţia raportului de creştere a presiunii în compresor, a valorilor randamentelor interne într-o plajă destul de largă, pentru diverşi agenţi termici ce evoluează în instalaţie.

The paper focuses on the effort that has been made with the low powers range where the internal efficiencies of the rotary machines performing an ITG cycle with constant volume combustion drastically diminish, for revitalizing the Brayton cycle with reciprocating machines (whose internal efficiencies have increased due to the advanced technologies) in order to get finally to the design of an external combustion engine based on non-conventional power sources.

The purpose of the study has been to compare the real efficiencies of the two cycles, taking into consideration the fact that the heat carrier has the same temperature when entering the turbine, in the flashdown section respectively. Another aspect studied has been the variation of the pressure increase rate in the compressor, as well as of the internal efficiencies values within a rather large range, for various heat carriers plant.

Lucrarea are drept scop compararea performanţelor celor două cicluri menţionate:

— ciclul Brayton (două izobare şi două adiabate) realizat cu maşini cu piston (compresor şi detentor cuplate printr-un schimbător de căldură); şi

— ciclul instalaţiei de turbine cu gaze (ITG), cu cameră de ardere la volum constant, realizat cu maşini rotative.

Este cunoscut faptul că, la puteri mari, randamentele interne ale maşinilor rotative ating valori mari, superioare celor ale maşinilor cu piston. La puteri mici însă, randamentele interne ale maşinilor rotative scad foarte mult, fiind posibil ca în acest caz folosirea maşinilor cu piston să se dovedească mai avantajoasă.

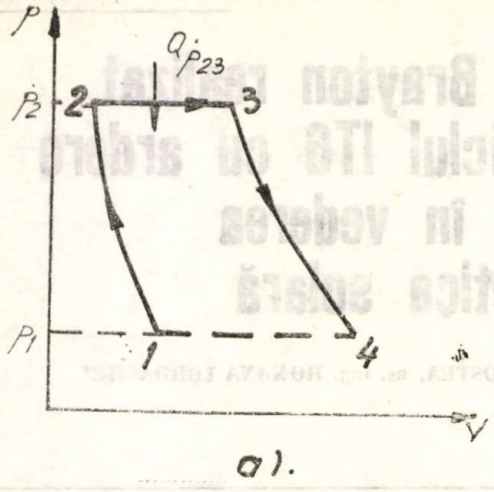
La vremea cînd Brayton încerca să determine experimental randamentul ciclului inventat de el, randamentele interne ale maşinilor cu piston (compresoare, detentoare) erau foarte scăzute, fapt pentru care tentativa sa de a demonstra că ciclul este performant a eşuat [1, 2]. Au fost descoperite apoi motoarele cu ardere internă, turbinele cu gaze, maşini a căror continuă perfecţionare au îngropat în uitare încercarea lui Brayton.

În contextul actual, al economiei de combustibil, dispunînd de tehnologii pentru moto-compresoare mai avansate (deci de maşini cu randamente superioare), ciclul Brayton apare într-o lumină favorabilă pentru producere de puteri mici, folosind eventual şi surse neconvenţionale de energie, deoarece sursa caldă pentru ciclu o constituie un schimbător de căldură [3].

Ca o paranteză, ansamblul maşinilor termice puse în discuţie pentru realizarea ciclului Brayton constituie un motor cu ardere externă, posibil de construit, pornit, exploatat şi la un cost mai redus decît motorul Stirling (tot motor cu ardere externă) de exemplu, care, pentru acelaşi domeniu al puterii furnizate, ridică serioase probleme de tehnologie, exploatare etc.

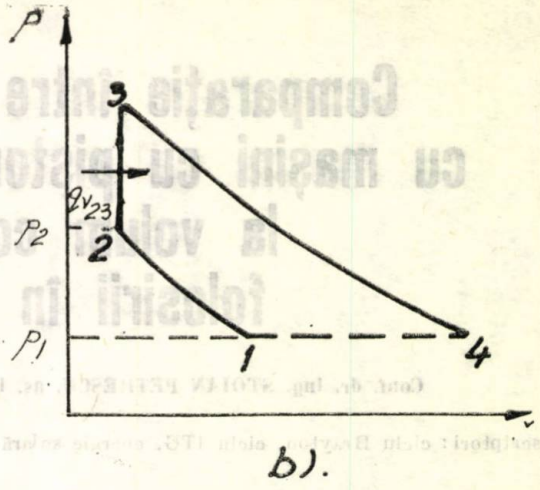
De la ideea posibilei superiorităţi a ciclului Brayton realizat cu maşini cu piston faţă de ciclul ITG realizat cu maşini rotative în ceea ce priveşte performanţele la puteri mici furnizate de aceste cicluri (fig. 1) a pornit studiul de faţă. Obiectivul său l-a constituit determinarea randamentelor efective ale celor două cicluri pentru o plajă mai largă de valori ale

* Conf. dr. ing. Stoian Petrescu, as. ing. Monica Costea, as. ing. Roxana Iordache — Facultatea de Mecanică, Institutul Politehnic Bucureşti



a).

Fig. 1 a. Ciclu Brayton realizat cu mașini cu piston.



b).

Fig. 1 b. Ciclul ITG cu ardere la V = ct.

randamentelor interne și mecanice ale mașinilor termice considerate (compresor-detentor cu piston, compresor-turbină rotativă).

Studiul a fost efectuat pentru două cazuri:

a — compresor și detentor cu piston lipsite de spațiu vătămător;

b — compresor și detentor cu piston cu spațiu vătămător, în ipoteza obținerii aceleiași valori a temperaturii agentului ($t_3 = 800; 1000; 1200°C$) la sfîrșitul încălzirii izobare, în cazul ciclului Brayton, respectiv arderii izocore, în cazul instalației de turbină cu gaze (vezi fig. 1). În aceste condiții s-au obținut următoarele expresii ale randamentelor efective:

— pentru cazul a:

$$\eta_{IBR}^{mp} = \frac{l_{iD} \cdot \eta_{iD} \cdot \eta_{mD} \cdot \dfrac{|l_{tc}|}{\eta_{iC} \cdot \eta_{mC}}}{q_{p_{23}}} =$$

$$= \frac{\dfrac{n}{n-1}\left(1 - \dfrac{1}{\beta^{\frac{\lambda-1}{n}}}\right)\left(\dfrac{T_3}{T_1}\eta_{iD} \cdot \eta_{mD} - \dfrac{1}{\eta_{iC} \cdot \eta_{mC}}\beta^{\frac{n-1}{n}}\right)}{\dfrac{k}{k-1}\left(\dfrac{T_3}{T_1} - \beta^{\frac{n-1}{n}}\right)}.$$

$$\eta_{IITG}^{V=cT} = \frac{l_{iT} \cdot \eta_{iT} \cdot \eta_{mT} - \dfrac{|l_{tc}|}{\eta_{iC} \cdot \eta_{mC}}}{q_{v_{23}}} =$$

$$= \frac{\dfrac{T_3}{T_1}\left\{\dfrac{n}{n-1}\left[1 - \left(\dfrac{T_1}{T_3}\right)^{\frac{n-1}{n}}\beta^{\frac{1-n}{n}}\right] - 1 + \dfrac{T_1}{T_3} \cdot \beta^{-\frac{1}{n}}\right\}\eta_{iT}\eta_{mT} - \dfrac{1}{\eta_{iC} \cdot \eta_{mC}} \cdot \dfrac{n}{n-1}\left(\beta^{\frac{n-1}{n}} - 1\right)}{\dfrac{1}{k-1}\left(\dfrac{T_3}{T_1} - \beta^{\frac{n-1}{n}}\right)};$$

— pentru cazul b:

$$\eta_{IBR}^{mp} = \frac{\dfrac{n}{n-1}\left(1 - \dfrac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 + 1}\beta^{\frac{1}{n}}\right)\left[\dfrac{T_3}{T_1}\left(1 - \dfrac{1}{\beta^{\frac{n-1}{n}}}\right)\eta_{iD} \cdot \eta_{mD} - \dfrac{1}{\eta_{iC} \cdot \eta_{mC}}\left(\beta^{\frac{n-1}{n}} - 1\right)\right]}{\dfrac{k}{k-1}\left(\dfrac{T_3}{T_1} - \beta^{\frac{n-1}{n}}\right)}$$

expresia randamentului efectiv al ciclului ITG fiind aceeași, ca în cazul precedent.

Semnificația mărimilor ce compun aceste relații este următoarea:

η_{BR}^{mp} — randamentul efectiv al ciclului Brayton realizat cu mașini cu piston;

$\eta_{ITG}^{V=ct}$ — randamentul efectiv al ciclului ITG cu ardere la volum constant, realizat cu mașini rotative;

l_{tD} — lucrul mecanic tehnic produs prin destinderea gazelor în detentorul cu piston;

l_{tC} — lucrul mecanic tehnic consumat pentru comprimarea gazelor în compresor;

$q_{p_{23}}$ — căldura prelucrată izobar de către agent în schimbătorul de căldură;

l_{tT} — lucrul mecanic tehnic produs prin destinderea gazelor în turbina rotativă;

$q_{v_{23}}$ — căldura preluată de agent în urma arderii izocore a combustibilului în camera de ardere la volum constant;

$\beta = \frac{p_2}{p_1}$ — gradul de creștere a presiunii în compresor;

n — exponentul politropic al proceselor de comprimare și destindere din mașinile termice;

k — exponentul adiabatic;

T_1 — temperatura agentului la finele aspirației în compresor;

T_3 — temperatura agentului la sfîrșitul fazei de încălzire 2—3;

η_{iD} — randamentul intern al detentorului cu piston;

η_{mD} — randamentul mecanic al detentorului cu piston;

η_{iC} — randamentul intern al compresorului (cu piston sau rotativ);

η_{mC} — randamentul mecanic al compresorului (cu piston sau rotativ);

η_{iT} — randamentul intern al turbinei rotative;

η_{mT} — randamentul mecanic al turbinei rotative;

ε_0 — coeficientul spațiului vătămător al compresorului cu piston, respectiv al detentorului cu piston.

Se precizează faptul că la determinarea expresiei lucrului mecanic produs prin destinderea gazelor în turbină s-a luat în considerare următorul aspect: la ieșirea din camera de ardere la volum constant presiunea gazelor scade pe măsura destinderii acestora în turbină.

În calculele efectuate au fost introduse următoarele valori [4, 5]:

- $k = 1{,}4$ pentru H_2 și aer
  $= 1{,}67$ pentru He
- $n = k - 0{,}1$
- $\eta_{iC,D,T} = 0{,}75;\ 0{,}9$
- $\eta_{mC,D,T} = 0{,}95$
- $\varepsilon_{0C} = \varepsilon_{0D} = 0{,}05$
- $T_1 = 293$ K
- $T_3 = 800;\ 1000;\ 1200$ K
- $\beta = 1, \ldots; 18,$

în vederea evidențierii valorilor lui β pentru care se ating randamente efective maxime ale celor două cicluri în condițiile în care temperatura agentului la sfîrșitul încălzirii (T_3) ia valori diferite, iar randamentele interne și mecanice ale mașinilor termice acoperă o plajă cuprinsă între $\eta_i \cdot \eta_m = 0{,}713 \div 0{,}855$.

În figurile 2—7 s-au materializat grafic rezultatele obținute, putîndu-se trage următoarele concluzii:

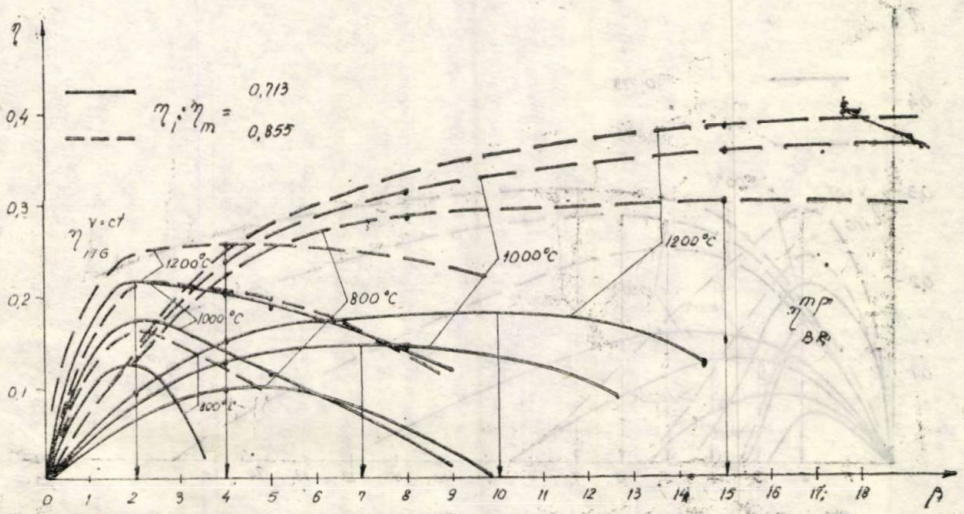


Fig. 2. Variațiile η_{BR}^{mp}, $\eta_{ITG}^{V=ct} = f(\beta, t_3, \eta_i, \eta_m)$ pentru aer, H_2 în cazul mașinilor cu piston fără spațiu vătămător.

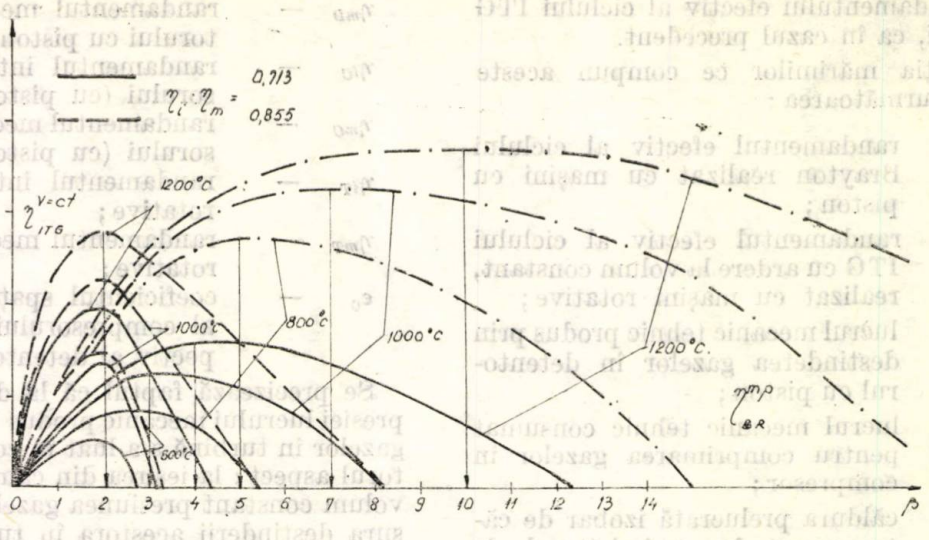


Fig. 3. Variaţiile η^{mp}_{BR}, $\eta^{V=ct}_{ITG} = f(\beta, t_3, \eta_i \cdot \eta_m)$ pentru He în cazul maşinilor cu piston fără spaţiu vătămător.

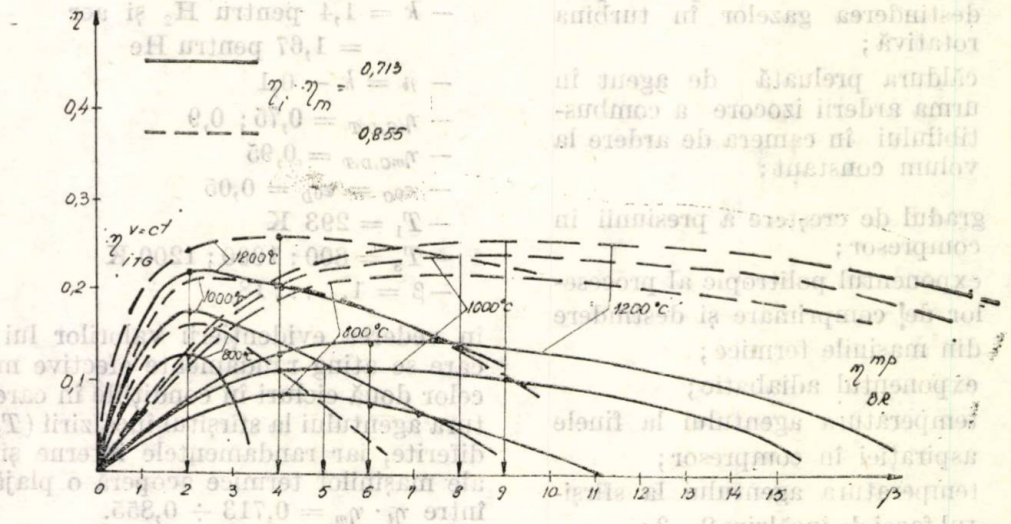


Fig. 4. Variaţiile η^{mp}_{BR}, $\eta^{V=ct}_{ITG} = f(\beta, t_3, \eta_i \cdot \eta_m)$ pentru aer, H_2 în cazul maşinilor cu piston cu spaţiu vătămător.

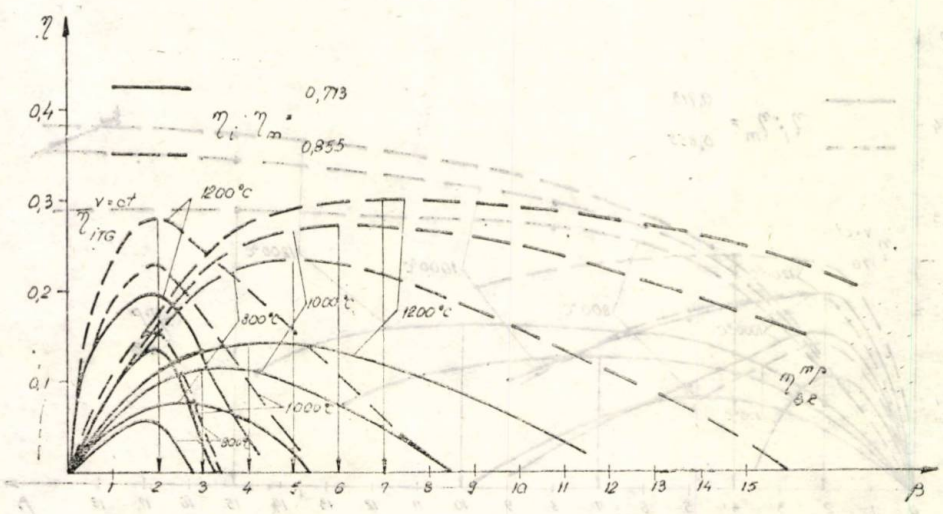


Fig. 5. Variaţiile η^{mp}_{BR}, $\eta^{V=ct}_{ITG} = f(\beta, t_3, \eta_i \cdot \eta_m)$ pentru He în cazul maşinilor cu piston cu spaţiu vătămător.

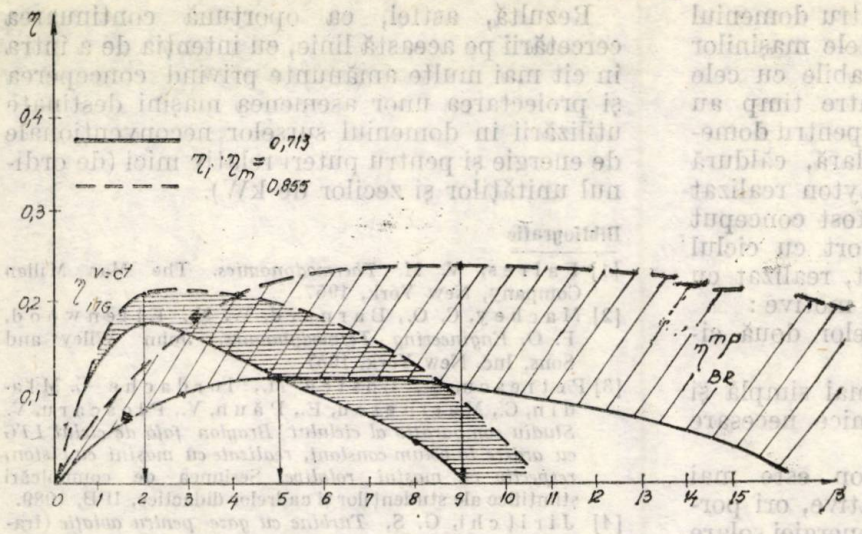


Fig. 6. Variațiile η_{BR}^{mp}, $\eta_{ITG}^{V=ct} = f(\beta)$ pentru aer, H_2 în cazul $t_3 = 1000°C$.

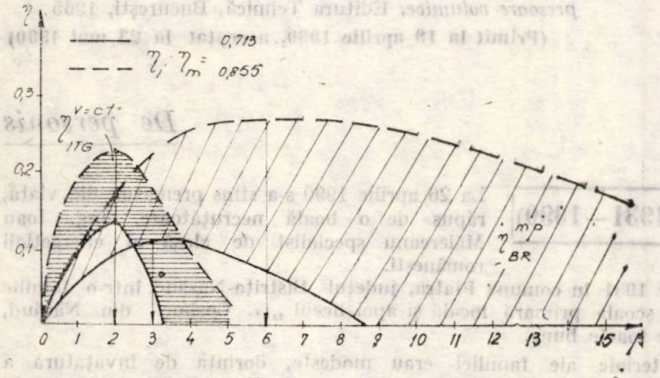


Fig. 7. Variațiile η_{BR}^{mp}, $\eta_{ITG}^{V=ct} = f(\beta)$ pentru He, în cazul $t_3 = 1000°C$.

1. Pentru mașini cu piston fără spațiu vătămător (fig. 2) maximele randamentului efectiv al ciclului Brayton realizat cu mașini cu piston se obțin pentru valori relativ mari ale lui β (pentru randamentele mai scăzute ale mașinilor $\eta_i \cdot \eta_m = 0{,}713$ — $\beta \in (4 \div 10)$, iar pentru randamente mai bune $\eta_i \cdot \eta_m = 0{,}855$ — $\beta \in 15 - 30$), în comparație cu cele ale ciclului ITG realizat cu mașini rotative, care se obțin pentru $\beta \in 2 \div 4$ pe plaja $\eta_i \cdot \eta_m = 0{,}713 \div 0{,}855$.

2. Urmărind alura și maximele curbelor reprezentate în figura 2 se constată că pentru valoarea scăzută a produsului $\eta_i \cdot \eta_m$ ciclul IT cu ardere la volum constant se dovedește superior ca randament efectiv ciclului Brayton realizat cu mașini cu piston, pentru fiecare valoare T_3 considerată, în timp ce limita superioară a plajei valorice $\eta_i \cdot \eta_m$ situația se inversează categoric (ex.: la $t_3 = 800°C$ se obțin $\eta_{ITG_{max}}^{V=ct} = 0{,}1625$, iar $\eta_{BR_{max}}^{mp} = 0{,}3034$).

3. Schimbarea agentului care evoluează în ciclu (fig. 3) — în locul gazelor biatomice (aer, H_2), gaz monoatomic (He) — atrage după sine deplasarea maximelor randamentului efectiv al ciclului Brayton spre valori mai coborîte ale lui β, pe întreaga plajă a produsului $\eta_i \cdot \eta_m$. Astfel, pentru $\eta_i \cdot \eta_m = 0{,}713$, $\beta \in 3 \div 4$, iar pentru $\eta_i \cdot \eta_m = 0{,}855$, $\beta \in 5 \div 10$. Ciclul ITG prezintă valori mai mari ale randamentului efectiv pentru $\eta_i \cdot \eta_m = 0{,}855$ față de corespondentele din figura 1. Concluzia 2 este valabilă și în cazul figurii 3 ($\eta_{ITG}^{V=ct} \lessgtr \eta_{BR}^{mp}$ funcție de valorile $\eta_i \cdot \eta_m$).

4. Pentru mașinile cu piston cu spațiu vătămător avînd ca agent de lucru aer sau H_2 (fig. 4) se constată scăderea valorilor η_{BR}^{mp} față de cele obținute pentru cazul precedent studiat; în plus, maximele randamentului efectiv al ciclului Brayton se deplasează spre valori mai mici ale lui β (ex.: pentru limita inferioară a produsului $\eta_i \cdot \eta_m$, $\beta \in 4 \div 6$, iar pentru limita superioară, $\beta \in 8 \div 9$).

5. Și pentru aceste mașini termice schimbarea agentului are aceleași consecințe ca în cazul precedent: coborîrea valorilor la care se obțin $\eta_{BR_{max}}^{mp}$ (fig. 5).

6. Din analiza comparativă a curbelor reprezentate în figurile 4 și 5 rezultă că pentru valori mici $\eta_i \cdot \eta_m$, $\eta_{ITG_{max}}^{V=ct} > \eta_{BR_{max}}^{mp}$; pentru valori mari $\eta_i \cdot \eta_m$, $\eta_{ITG_{max}}^{V=ct} < \eta_{BR_{max}}^{mp}$; numai pentru valoarea $t_3 = 1200°C$ (posibil de atins la ITG folosind materiale ceramice pentru turbină) valorile maxime ale randamentului efectiv al ciclului Brayton realizat cu mașini cu piston și randamentului efectiv al ciclului ITG cu ardere la $V = ct$ sînt aproximativ egale pentru toți agenții puși în discuție.

7. Figurile 6 și 7 servesc orientării în ceea ce privește valoarea η_{BR}^{mp} sau $\eta_{ITG}^{V=ct}$ în cazul modificării între limitele considerate a produsului $\eta_i \cdot \eta_m$. Se observă că pe întreaga plajă de variație a valorii $\eta_i \cdot \eta_m$, pentru $\beta > 5$ la aer și H_2, iar $\beta > 3$ la He, $\eta_{BR}^{mp} > \eta_{ITG}^{V=ct}$.

Din acest studiu rezultă că pentru domeniul puterilor mici, în care randamentele maşinilor rotative încep să devină comparabile cu cele ale maşinilor cu piston (care între timp au crescut din motive tehnologice) şi pentru domeniul surselor noi de energie (solară, căldură recuperată), varianta ciclului Brayton realizat cu maşini cu piston (aşa cum a fost conceput de el) devine interesantă în raport cu ciclul ITG cu ardere la volum constant, realizat cu maşini rotative din următoarele motive:

— randamentele efective ale celor două cicluri devin comparabile;

— realizarea tehnologică este mai simplă şi mai ieftină pentru maşinile termice necesare realizării ciclului Brayton;

— pornirea maşinilor cu piston este mai uşoară în comparaţie cu cele rotative, ori pornirea agregatelor în cazul folosirii energiei solare reprezintă un factor important (datorită specificului fluctuant al acestei energii) în decizia cu privire la adoptarea unor maşini.

Rezultă, astfel, ca oportună continuarea cercetării pe această linie, cu intenţia de a intra în cît mai multe amănunte privind conceperea şi proiectarea unor asemenea maşini destinate utilizării în domeniul surselor neconvenţionale de energie şi pentru puteri relativ mici (de ordinul unităţilor şi zecilor de kW).

Bibliografie

[1] Faires, V. M. *Thermodynamics.* The Mac Millan Company, New York, 1957.

[2] Machey, C. O., Barnard, W. N., Ellenwood, F. O. *Engineering Termodynamics.* John Wiley and Sons, Inc. New York, 1957.

[3] Petrescu, S., Costea M., Iordache C. Mladin, C., Marinescu, E., Păun, V., Ploscaru, V. *Studiu comparativ al ciclului Brayton faţă de ciclul ITG cu ardere la volum constant, realizate cu maşini cu piston, respectiv cu maşini rotative.* Sesiunea de comunicări ştiinţifice ale studenţilor şi cadrelor didactice, IPB, 1989.

[4] Jiriţchi, G. S. *Turbine cu gaze pentru aviaţie* (traducere din limba rusă). Editura Tehnică, Bucureşti, 1952.

[5] Stamatescu, C., Taşcă, D., Grigoriu, M. *Compresoare volumice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1965.

(Primit la 19 aprilie 1990, acceptat la 23 mai 1990)

De personis

IOAN MĂIEREANU (1931—1990)

La 26 aprilie 1990 s-a stins prematur din viaţă, răpus de o boală necruţătoare, ing. Ioan Măiereanu specialist de clasă al energeticii româneşti.

Născut la 9 octombrie 1931 în comuna Piatra, judeţul Bistriţa-Năsăud, într-o familie de ţărani gospodari, urmează şcoala primară locală şi apoi liceul „G. Coşbuc" din Năsăud, pe care îl termină cu rezultate foarte bune.

Deşi posibilităţile materiale ale familiei erau modeste, dorinţa de învăţătură a tînărului absolvent de liceu a fost atît de fierbinte, încît în acelaşi an (1950) reuşeşte la concursurile de admitere atît la Facultatea de Electrotehnică şi Energetică din cadrul Institutului Politehnic Bucureşti, cît şi la Facultatea de Matematică din cadrul Universităţii Bucureşti.

Optează pentru prima şi la finele anului universitar 1950/1951 este trimis pentru continuarea studiilor în U.R.S.S. la Institutul Energetic din oraşul Ivanovo.

Obţinînd în 1955, printre fruntaşii promoţiei, titlul de inginer electrician în specialitatea „centrale electrice, reţele şi sisteme" este repartizat la Intreprinderea Regională de Electricitate Hunedoara — Deva, unde promovează rapid în funcţiile de şef de serviciu investiţii, şef secţie mixtă Gura Barza şi şef serviciu producţie.

În perioada 1960—1962 ca inspector principal şi apoi ca şef al inspecţiei energetice a fostei regiuni Hunedoara, contribuie activ la soluţionarea unor probleme privind gospodărirea judicioasă a energiei la marii consumatori din zonă ca, de exemplu: creşterea gradului de folosire a gazului de furnal la Combinatul siderurgic Hunedoara şi reducerea pierderilor de aer comprimat în reţelele de distribuţie la unităţile Combinatului carbonifer Valea Jiului.

Între 1962—1971 a fost directorul Intreprinderii Regionale de Electricitate Hunedoara — Deva, funcţie în care a depus un efort deosebit pentru ridicarea nivelului tehnic al exploatării şi întreţinerii instalaţiilor, precum şi pentru formarea şi promovarea cu curaj a tinerilor lucrători.

Fiind apreciat drept unul dintre cei mai valoroşi directori de întreprindere din sistemul energetic, este promovat în 1971 în aparatul central al Ministerului Energiei Electrice, ca director al corpului de control, Director al Direcţiei Organizare, Personal, Învăţămînt, Control şi director al Direcţiei Tehnice în perioada 1977—1984.

Victimă a unei decizii arbitrare din partea conducerii de atunci, este schimbat în 1984 din funcţia de director, rămînînd în cadrul Direcţiei Tehnice pînă la pensionarea sa în martie 1990, ca inspector general şi ulterior ca şef al serviciului utilizarea energiei electrice şi termice.

În această perioadă a desfăşurat acţiuni eficiente de îndrumare şi control privind furnizarea şi utilizarea raţională a energiei electrice şi termice la unităţile din subordinea M.E.E. şi la marii consumatori industriali şi a organizat consfătuiri naţionale pe această temă, a contribuit la elaborarea unor reglementări tehnice, inclusiv la reactualizarea „Regulamentului pentru furnizarea şi utilizarea energiei electrice", a promovat cercetări şi studii vizînd reducerea pierderilor în reţelele electrice, funcţionarea SEN la frecvenţa scăzută, determinarea consumurilor specifice energetice directe şi cumulate în produsele energointensive.

În perioada cît a lucrat în aparatul central al M.E.E. a făcut parte din colegiul de redacţie al revistei „Energetica", unde a avut o contribuţie substanţială la creşterea nivelului şi prestigiului tehnico-ştiinţific al acestei publicaţii.

A fost un om deosebit, cu temeinice cunoştinţe generale şi de specialitate, dotat cu o memorie prodigioasă şi cu o mare putere de muncă, care a dovedit seriozitate, perseverenţă, ordine şi corectitudine, calităţi pe care le-a cerut cu exigenţă şi subalternilor.

A urît minciuna, răutatea şi compromisul, şi-a iubit cu devotament familia şi a întins mîna la nevoie tuturor celor din jur.

Ing. Ovidiu Ţuţuianu

JEAN-BAPTISTE FOURIER și seriile FOURIER

Analiza fenomenelor periodice cu ajutorul metodei seriilor Fourier este foarte răspîndită între specialiștii energeticieni de toate specialitățile. Descompunerea funcțiilor periodice într-o sumă de sinusoide este folosită cu eficacitate în științele și tehnologiile de vîrf, azi, la peste 180 ani de la descoperirea ei. Dar, J.-B. Fourier este cunoscut ca savant cu rezultate deosebite și în domenii ca cel al studiului căldurii și altele. Viața sa a reflectat lupta de idei din acea epocă, iar faptul că reușita ideilor sale a învins reticențele unor savanți de renume de atunci este rezultatul perseverenței sale și seriozității în muncă.

Omul

Jean-Baptiste Fourier s-a născut în anul 1768 la Auxerre în Franța și s-a stins în 1830, deci a trăit într-o perioadă de frămîntări sociale și politice cu totul excepțională. Primele cursuri le-a făcut la Școala Militară din Auxerre; mai tîrziu a fost și profesor la această instituție. A predat cursuri la Școala Normală din Paris încă de la înființarea ei, în 1795. Încă din tinerețe a fost preocupat de studiul căldurii, subiect la modă în acea epocă. În 1798 a făcut parte din suita de savanți care l-au însoțit pe Napoleon în expediția din Egipt. În timp ce Napoleon ducea lupte cu sirienii în Palestina, îi învingea pe turci și îl urmărea pe șeful mamelucilor, Murad Bey, savanții francezi efectuau cercetări ambițioase în domeniile geografiei, arheologiei, medicinei, agriculturii și științelor naturale, pe teritoriul Egiptului. Fourier era numit secretarul așa-numitului „Institut d'Egypte". Competent și bine pregătit se achita cu succes atît de sarcinile administrative, cît și de cele științifice. S-a ocupat de conducerea cercetărilor intensive referitoare la antichitatea egipteană, dar în același timp și-a folosit timpul pentru fundamentarea unei teorii asupra rădăcinilor ecuațiilor algebrice.

În 1800, francezii au fost evacuați din Egipt. Nava pe care se aflau și oamenii de știință a fost capturată de amiralul Sir Sidney Smith care conducea flota britanică din Mediterana. Acesta a debarcat savanții în portul Alexandria, dar a transportat relicvele preluate din Egipt în Franța și le-a predat autorităților franceze, cu excepția celebrei pietre Rosette care — după cum se știe — a permis descifrarea hieroglifelor egiptene, care a fost transportată la Londra și care se găsește și azi la British Museum.

Reîntors în Franța, Fourier și-a concentrat activitatea asupra matematicienilor și a devenit profesor de analiză la Școala Politehnică din GRENOBLE. În 1802 s-a pus din nou în serviciul lui Napoleon, devenind prefect de Isère, funcție în care s-a remarcat prin efectuarea unor lucrări civile importante îndeosebi șosele, precum și drenaje ale unor mari suprafețe mocirloase care erau surse de malarie etc. Tot în această epocă a descoperit un model matematic care reprezenta propagarea căldurii în corpuri solide. Pentru rezolvarea ecuației aferente, în 1807, Fourier a pus la punct o metodă de rezolvare, care de atunci s-a numit analiza Fourier.

* * *

În 1816 s-a instalat la Paris și a devenit, împreună cu Cuvier, secretar al Academiei de Științe.

Analiza Fourier

Natura „a folosit" și „folosește" analiza Fourier în multe fenomene. De exemplu, la animalele superioare, urechea ca receptor și creierul realizează în mod automat analiza care se bazează pe o astfel de descompunere. Într-adevăr, sunetul receptat, care este constituit din unde de presiune ce se propagă prin aer, este convertit într-un spectru compus din sunete pure (perfect sinusoidale) de înălțimi diferite. Creierul interpretează această informație, stabilind tonul, nuanța, înălțimea și intensitatea sunetului receptat, ceea ce permite recunoașterea semnalelor și posibilitatea de dialogare.

Descoperirea lui Fourier a fost folosită inițial, așa cum s-a arătat, pentru rezolvarea unor probleme de propagare a căldurii. Unul din cazurile analizate a fost acela al propagării căldurii într-un inel de lanț de tipul celui folosit pentru ancorare în activitatea marinărească. Un astfel de inel este încălzit în una din jumătățile sale, cu ajutorul unei flăcări. Cînd această parte a inelului se încălzește la roșu, se retrage din foc și se introduce într-o masă de nisip fin, cu proprietăți de izolant termic. Se măsoară apoi repartiția temperaturii pe inel. În primul moment, temperatura este repartizată neregulat; o jumătate este aproape uniform caldă, cealaltă jumătate fiind aproape uniform rece. Între aceste două zone temperatura are discontinuități abrupte. Curînd, prin trecerea căldurii de la zona caldă la zona rece, temperaturile tind să se egalizeze încetul cu încetul. La un moment dat, distribuția temperaturii de-a lungul inelului devine practic sinusoidală; apoi, sinusoida se aplatizează treptat, pînă cînd punctele inelului ajung să aibă aceeași temperatură. Fourier a propus ca repartiția inițială (practic discontinuă) a temperaturilor să fie descompusă într-o sumă de un mare număr (eventual infinite) de distribuții sinusoidale, avînd maximele și fazele proprii. Mai mult, lungimea de undă a unei componente sinusoidale este un submultiplu din lungimea perimetrului inelului. Componenta a cărei lungime de undă este egală cu perimetrul inelului se numește armonică fundamentală; celelalte poartă numele de „armonici de ordinul n" ($n = 2, 3, \ldots$). Funcțiile matematice exprimă pentru fiecare armonică, amplitudinile și fazele. Ansamblul acestor funcții matematice constituie descompunerea Fourier a distribuției temperaturilor în inel.

Fourier a înlocuit o funcție unică, dar dificil de descris matematic, printr-o serie de funcții în sinus sau cosinus, a cărei sumă reconstituie funcția inițială.

Trebuie subliniată o idee fundamentală care decurge din această analiză, pe care Fourier a scos-o în evidență pentru exemplul dat: cu cît lungimea de undă a unei componente sinusoidale este mai mică, cu atît extinția acesteia este mai rapidă. Urmărind raționamentul lui Fourier, să luăm exemplul armonicei II a cărei evoluție o comparăm cu evoluția armonicei fundamentale. Repartiția temperaturilor descrisă prin armonica II are două maxime de-a lungul inelului, în timp ce armonica fundamentală nu are decît unul. În consecință, distanța pe care căldura trebuie să o parcurgă de la un maximum la un minimum este jumătate din cea corespunzătoare armonicii fundamentale. Deci, la amplitudini egale, gradientul de temperatură pentru armonica II este de două ori mai mare față de cel al fundamentalei: cum fluxul de căldură este proporțional cu gradientul de temperatură, acest factor va conduce la descreșterea mai rapidă a armonicii II. Armonicele superioare se vor amortiza și mai repede. Cînd temperatura inelului se va apropia de echilibru, distribuția temperaturilor va fi sinusoidală și foarte aproape de fundamentală, care se amortizează în continuare pînă la aplatizarea completă.

Lupta de idei

La începutul secolului XIX un număr de matematicieni parizieni, între care se aflau nume ilustre ca Lagrange Legendre, Biot, Poisson, nu au agregat descoperirea lui Fourier, din care rezulta că orice distribuție termică inițială se putea

descompune într-o sumă aritmetică a unei fundamentale și a unor armonici. Euler a scos în evidență niște „lacune" ale teoriei, cu toate că el însuși dovedise că unele funcții puteau fi reprezentate prin sume de funcții în sinus.

Cînd Fourier a expus metoda sa la una din reuniunile Academiei de Științe din Paris, Lagrange s-a ridicat și a declarat-o falsă. Chiar în aceste circumstanțe Academia nu putea să ignore importanța rezultatelor lui Fourier și ca urmare i-a decernat un premiu pentru teoria sa matematică pentru legile propagării căldurii și verificările experimentale în anumite situații determinate. Această recompensă a fost însoțită de un comentariu restrictiv. Astfel, Academia observa că teoria avea de suferit, atît în generalitate, cît și în rigoare.

Aceste importante rezerve, formulate de contemporanii lui Fourier au făcut ca publicarea teoriei sale să întîrzie pînă în 1815. De fapt, abia în 1822 a apărut sub o formă finită în cartea sa „*Théorie analytique de la chaleur*".

În 1837, matematicianul-astronom Gustav Lejeune-Dirichlet (1805—1859) a stabilit condițiile pentru ca o funcție periodică să poată fi dezvoltată în serie Fourier.

Principala obiecție formulată se referea la afirmația că o funcție discontinuă ar putea fi exprimată printr-o sumă de funcțiuni sinusoidale *continui*. Funcțiile discontinui sînt reprezentate prin curbe secționate în mai multe părți. De exemplu, funcția lui Heaviside are valoarea zero la stînga originii și sare la valoarea unu la dreapta. Ea descrie — de exemplu — variația intensității unui curent cînd se cuplează un întrerupător.

Contemporanii lui Fourier nu înțeleseseră pînă atunci că o funcție discontinuă ar putea fi egală cu o sumă de funcții continui obișnuite ca cele polinomiale, exponențiale sau trigonometrice. În acea vreme părea absurd ca o sumă de funcții continue să poată forma o funcție discontinuă. De fapt, problema de fond care se punea din punct de vedere teoretic era aceea a convergenței.

Problema convergenței seriei Fourier a reapărut la sfîrșitul secolului XIX cînd Lord Kelvin, ocupîndu-se de mișcările mareelor, a inventat un calculator analogic folositor echipajelor navelor comerciale și militare. Acest calculator determina mecanic ansamblurile de amplitudini și de faze, plecînd de la datele înregistrate în cursul anului precedent pentru mareele unui anumit port. Fiecare cuplu amplitudine-fază reprezintă o componentă sinusoidală a funcției de timp a înălțimii mareei. Aceste rezultate se introduceau într-un instrument care le sintetiza într-o curbă capabilă să dea coeficienții mareelor din anul următor. Astfel de curbe au fost în curînd trasate pentru porturile din lumea întreagă. Cu această ocazie Euler a demonstrat că o serie Fourier a unei funcții care reprezintă variații ale unei mărimi fizice, este sigur convergentă.

Cercetări efectuate în secolul nostru, ca de exemplu cele efectuate de Laurent Schwartz în 1948 au condus la stabilirea unor definiții precise a funcției treaptă a lui Heaviside și a funcției impuls a lui Dirac, au permis folosirea analizei Fourier pentru a rezolva ecuații care puneau în discuție concepte ca „punct masiv", „punct de sarcină", „dipol magnetic" etc.

O serie de mari matematicieni din secolul trecut, ca Dirichlet, Riemann, Borel, Lebesgue, Denjoy și alții, contemporani cu noi, au elaborat lucrări speciale în legătură cu teoria seriilor Fourier, iar în ultimul timp cu practica aplicațiilor acestora folosind tehnica modernă de calcul.

Peste optsprezece ani se vor împlini peste două secole de dezvoltare a teoriei analizei lui Fourier. În prezent această teorie este structurată temeinic și bine înțeleasă.

Actualitatea analizei Fourier

În analiza Fourier, „transformata Fourier" este o funcție care explicitează amplitudinea și faza pentru fiecare frecvență a componentei sinusoidale. Această transformată se obține prin două metode diferite după cum se prezintă funcția inițială: funcție continuă sau funcție prin puncte discrete.

În acest din urmă caz funcția inițială se prezintă sub forma unei liste de valori date pentru anumite intervale succesive; ea poate fi descompusă într-o serie de funcții sinusoidale ale căror frecvențe pornesc de la o valoare minimă corespunzătoare frecvenței fundamentale — spre multitudinea de multipli, regăsindu-se astfel seria Fourier.

Cînd funcția inițială este definită pentru fiecare valoare reală, deci este continuă, aceasta este descompusă în funcții sinusoidale de toate frecvențele care sînt combinate cu ajutorul operației numite integrala Fourier.

Existînd o funcție continuă f și o integrală Fourier pe care o notăm cu F care este funcție de frecvență, se numește **transformata Fourier** aplicația care asociază integrala F la funcția f. Indiferent de modul prin care se obține transformata, trebuie asociate la orice frecvență două numere: amplitudinea și faza; desigur că se pot folosi și alte cupluri de numere. Un astfel de cuplu poate fi reprezentat prihtr-un număr complex. Această reprezentare este foarte apreciată de specialiști și în mod deosebit de specialiștii din energetică, pentru că permite utilizarea algebrei cu variabile complexe. Algebra complexă și transformata Fourier sînt indispensabile în calculele legate de concepția circuitelor electrice, în analiza vibrațiilor mecanice și în propagarea undelor.

Reprezentarea unei funcții originale prin transformata sa Fourier sub formă complexă simplifică sensibil, în cele mai multe cazuri, calculele; un exemplu tipic este determinarea curentului care trece printr-un circuit alimentat de o tensiune continuă. Rezolvarea directă duce la ecuații diferențiale complicate. Transformata complexă Fourier conduce la rezolvarea unei ecuații algebrice.

În zilele noastre se studiază în continuare diferitele posibilități de ameliorare ale tehnicilor de trecere de la o funcție la transformata sa. Au fost calculate integrale Fourier pentru funcții tipice, iar rezultatele au fost grupate în tabele de referință.

Tehnica modernă de calcul este folosită din plin pentru calculul transformatei Fourier, în special cînd integrala este dificil de evaluat și nu figurează în tabele. Fără ordinator, calculul numeric al unei transformate este dificil și necesită o durată de timp deseori descurajantă. Cantitatea de calcul depinde în mod esențial de numărul de puncte care descriu curba. Numărul de operații de adunare este de ordinul numărului punctelor, dar numărul de operații de multiplicare este de ordinul patratului numărului punctelor. Astfel, analiza unei curbe descrise prin 1000 de puncte fixate la intervale egale, ar necesita circa 1000 de adunări și circa un milion de multiplicări.

Cercetările au continuat pentru obținerea unor metode de calcul pentru analiza mai rapidă a funcțiilor. În 1965 s-a pus la punct o „transformare Fourier rapidă", metodă descoperită de James Cooley de la Centrul de cercetări al cunoscutei IBM, precum și de John Tukey de la laboratoarele Bell Telephone. Numărul de operații se reduce aproape la jumătate; în special se reduce numărul de multiplicări. Strategiile pentru reducerea numărului de operații își au originea tot în trecut. Gauss, care efectua calcule astronomice pentru urmărirea unor comete, a pus la punct metode apropiate celor folosite la transformarea rapidă Fourier. Americanul Ralph Hartley a conceput o analiză analoagă analizei Fourier, adaptată pentru calculatoarele moderne, și cu o reducere simțitoare a numărului de operații de calcul.

* * *

* * *

Analiza și transformata Fourier, precum și metodele derivate, au o largă aplicare în special la fenomenele ciclice sau oscilante.

Energeticienii de toate specialităţile folosesc în mod curent analiza Fourier într-o serie de aplicaţii:

— studiul regimurilor deformante din sistemele electroenergetice;
— studiul circuitelor electrice;
— studiul transmisiei căldurii;
— studiul circuitelor termice;
— studiul vibraţiilor fundaţiilor şi carcaselor; etc.

Departe de a deveni desuetă, analiza Fourier şi metodele perfecţionate derivate au aplicaţii în domeniile de cea mai mare actualitate în ştiinţele de vîrf.

În biologie, structura în formă de dublă elice a ADN-ului a fost descoperită în 1962 graţie tehnicilor de difracţie, precum şi analizei Fourier. Cercetări care au folosit aceleaşi tehnici şi metode au scos în evidenţă structura altor molecule biologice, ca de exemplu ale virusilor şi ale altor structuri mai complexe.

Cu ajutorul analizei Fourier se ameliorează claritatea şi detalierea fotografiilor corpurilor cereşti luate în cosmos. Sondele planetare şi sateliţii de pe orbite transmit imagini sub forma unei suite de impulsuri radio. Un ordinator transformă mesajele folosind tehnica Fourier.

În chimie, pentru analizele specifice se folosesc spectrometrele care se bazează pe transformările Fourier etc.

Numărul mare de aplicaţii ale metodelor Fourier şi ale tehnicilor analitice asociate întăresc afirmaţia făcută de Lord Kelvin încă în 1867: *„Teorema lui Fourier nu este numai unul din rezultatele frumoase ale analizei moderne; ea constituie un instrument indispensabil pentru studiul aproape al oricărei probleme dificile a fizicii moderne"*.

Prelucrare după un articol de Ronald Bracewell, publicat în revista "Pour la sciene" nr. 142 august 1989

Dr. ing. EUGENIU PAVEL

50 DE ANI DE LA DESCOPERIREA FISIUNII NUCLEARE

Această descoperire a pus la dispoziţia omenirii o nouă formă de energie, resursă care se poate adăuga celor clasice sau le poate substitui.

Pe baza documentării de specialitate sintetizăm, în cele ce urmează, principalele etape ale cercetării şi explicării fenomenului, marcînd unele date care au devenit istorice în fizica nucleară.

Definirea fisiunii

Fisiunea este reacţia nucleară, care constă în scindarea unui nucleu greu. Poate apărea spontan, dar mai frecvent prin inducţie, adică sub acţiunea unei particule, cel mai des a unui neutron lent sau rapid. Scindarea se produce: deseori în două, uneori în trei şi rareori în mai multe fragmente care au numere de amsă apropiate; totodată sînt emişi neutroni care pot provoca alte fisiuni, realizîndu-se un proces în lanţ. Această fază este urmată de lanţuri de dezintegrări ale fragmentelor iniţiale pînă la produse de fisiune finală. Fisiunea este asociată cu emitere de energie.

Substanţele fisionabile cele mai utilizate sînt uraniul şi plutoniul.

În reactoarele nucleare din filierele industrializate se produc în principal coliziuni între nuclee de uraniu $^{325}_{32}U$ şi neutroni lenţi, avînd energii cinetice sub 0,1 eV. Prin fisiune fiecare nucleu eliberează o energie de circa 200 MeV şi cîţiva neutroni, care asigură menţinerea procesului de fisiune.

Evenimente ştiinţifice care au precedat şi condiţionat descoperirea fisiunii

În 1905 Albert Einstein a stabilit echivalenţa între masă şi energie prin celebra formulă $E = mc^2$, care explică emiterea de energie prin fisiune. Pe această bază în 1907, Max Planck a emis ipoteza că în interiorul fiecărui corp este o rezervă uriaşă de energie. În ceea ce priveşte posibilităţile de a o obţine, el remarca, însă, că prin dezintegrarea radiului masa transformată este foarte mică, abia de 0,012 mg pe gram şi an.

În 1911 — 1919 Ernest Rutherford, pe baza concepţiei sale că atomul este un sistem planetar, a explorat structura subatomică prin bombardarea materiei cu particule alfa. Acest tip de cercetare, imaginat prima dată de Rutherford, este aplicat şi în prezent. Cercetările l-au condus la prima reacţie nucleară care a produs transmutarea substanţei din azot în oxigen.

În 1932 Kames Chadwick a descoperit neutronul, particulă cu masă puţin mai mare decît a protonului şi cu sarcină electrică zero.

Ca urmare Werner Heisenberg a conceput structura nucleului atomic din protoni şi neutroni, exprimată prin $^{A}_{Z}X$, în care: X este simbolul chimic literal al substanţei; Z — numărul atomic, adică numărul protonilor din nucleu, reprezentînd totodată poziţia elementului chimic în sistemul periodic, care cuprinde în prezent 109 elemente; N numărul neutronilor din nucleu: $A = Z + N$ numărul de masă, indicînd numărul nucleonilor, adică al protonilor şi neutronilor din nucleu.

Uraniul este elementul natural cu numărul atomic cel mai mare $Z = 92$. Substanţe cu numere atomice $Z > 92$, numite transuranice, se obţin numai pe cale artificială, prin anumite reacţii nucleare; între ele este plutoniul care rezultă în procesele din reactoarele nucleare.

Tot în 1932 John Cockroft şi Ernest Walton au produs prima reacţie nucleară cu particule accelerate, bombardînd litiul cu protoni accelerati într-un accelerator liniar.

De asemenea, în același an Harold Urey a reușit să prepare apă grea, pe cale electrolitică.

În 1933 Ernest Rutherford a remarcat într-o conferință că nu sîntem în măsură să controlăm energia atomică astfel încît să aibă semnificație economică.

Activitatea în domeniul substanțelor transuranice

Această activitate a precedat și determinat descrierea fisiunii nucleare.

Începînd din anul 1934, în fizică erau la ordinea zilei cercetări pentru obținerea de substanțe transuranice ($Z > 92$), cercetări care fascinau pe mulți oameni de știință, deschise de fizicianul italian Enrico Fermi (1901 — 1954), atunci profesor de fizică teoretică la Roma.

În folosirea neutronilor el sesizase un mijloc mult mai eficace de a acționa asupra nucleelor decît prin particule încărcate electric. Cu această idee și ajutat de mai mulți colaboratori, a început o activitate intensă de-a iradia cu neutroni toate elementele sistemului periodic, fără a înregistra rezultate concludente cu elementele ușoare pînă la argint ^{107}Ag.

Prin iradiere cu neutroni, soluții conținînd o sare de uraniu deveneau radioactive, ceea ce s-a considerat că trebuia să fie datorită apariției unor substanțe transuranice.

E. Fermi și colaboratorii săi O. d'Agostine, F. Rosetti și Emilio Segre au separat patru substanțe beta — active. În final s-a considerat că au fost descoperite primele două substanțe transuranice cu $Z = 93$ și $Z = 94$, care au fost numite Ausonium și Hesperium.

Totuși E. Fermi nu manifesta siguranță deplină în rezultatele presupuse.

În activitatea de obținere de substanțe transuranice s-au angajat și alți cercetători, între care și chimistul Otto Hahn (1879—1968), conducătorul importantului Kaiser Wilhelm Institut für Chemie de la Berlin—Dahlem. El a avut doi colaboratori, fizicieni valoroși : pe profesoara Liese Meitner pînă în iulie 1938 (cînd a plecat la Stockholm, la un institut de cercetări), iar după acea dată pe dr. Fritz Strassmann.

În decembrie 1934 Otto Hahn și Liese Meitner au comunicat că cele două corpuri descoperite de Enrico Fermi cu $Z = 93$ și $Z = 94$ pot fi elemente distincte și nu izotopi.

Lucrînd cu Strassmann, Otto Hahn a anunțat la începutul lunii noiembrie 1938 rezultate privind 16 atomi artificiali cu $Z = 88 - 90$ și $Z = 92 - 96$, confirmați de analizele efectuate la Paris de Irène Curie și colaboratorul său Paul Savitch.

La 12.12.1938 i s-a decernat lui Enrico Fersi, la Stockholm, premiul Nobel pentru „descoperirea noilor substanțe radioactive". Stabilindu-se în S.U.A., el a devenit profesor la Columbia University. Continuînd activitatea de cercetător a construit primul reactor nuclear pus în funcțiune la Universitatea din Chicago la 2.12.1942.

Cu toate rezultatele obținute în domeniul transuranicelor, descoperiri necontestate au început abia din 1940 cu neptuniul ($Z = 93$) și plutoniul ($Z = 94$), ajungîndu-se la sfîrșitul anului 1988 pînă la $Z = 109$.

Concomitent cu cercetările experimentale privind transuranicele continuau și studiile teoretice.

În octombrie 1937 Niels Bohr și Fritz Kalckar, lucrînd la Copenhaga, au încheiat un studiu privind transformările nucleelor atomice prin bombardamente cu particule. Pe baza unei idei a lui George Gamow din 1930, ei au formulat conceptul nucleului în picătură de lichid, ceea ce va avea o mare importanță pentru explicarea fisiunii.

În iulie 1938, Carl Friedrich von Weizsäcker, care lucra la Kaiser Wilhelm Institut für Physik, emitea ideea că energia stelelor își are originea în fuziunea de nuclee de hidrogen, rezultînd heliu. Aceeași idee a fost lansată și de Hans Bothe în S.U.A.

Descoperirea fisiunii nucleare

Acest fenomen nu a fost prevăzut deoarece pînă în 1939 în fizică nu s-a conceput posibilitatea scindării nucleului atomic în fragmente cu masă apropiată și de aceea nu existau nici conceptul și nici denumirea de fisiune nucleară. Nucleul era considerat o structură stabilă, datorită forțelor nucleare de atracție de foarte mare intensitate (de circa un milion de ori mai mari decît forțele dintre atomii sau moleculele unui cristal). În aceste condiții nu se concepea scindarea unui nucleu în fragmente mari, ci cel mult să fie desprinse din el mici părți.

În decembrie 1938 Hahn și Strassmann, efectuînd experiențe de bombardare a uraniului cu neutroni lenți, au obținut în loc de substanțe transuranice substanțe cu $Z < 92$ și anume bariu $^{140}_{50}Ba$ și lantaniu $^{140}_{57}La$, identificate respectiv la 17. 12. 1950 și 19.12.1938. Acest efect incredibil a interesat imediat mai multe cercuri de cercetători ai timpului, determinînd experimentări de verificare și explicații.

Otto Hahn s-a adresat la 19.12.1938 fostei lui colaboratoare Liese Meitner întrebînd-o dacă *„poate să propună a explicație fantastică știind că uraniul bombardat nu poate să se spargă în bariu"*. În răspunsul său din 21.12.1938 Liese Meitner își exprima nedumerirea, dar adăuga : *„în fizica nucleară apar atît de multe surprize încît nu se poate spune că este imposibil"*. Liese Weitner a discutat evenimentul și cu Atto Frisch (nepotul său). Ca urmare Liese Meitner a sfătuit, la 21.12.1938, ca descoperitorii să nu publice rezultatele pînă ce nu vor fi absolut siguri.

Totuși, aceștia au informat mai întîi telefonic și apoi printr-o comunicare scrisă (*Über den Nachweis und das verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittles Neutronen entstehenden Erdalkalinmetalle — Asupra dovezii și comportării metalelor alcalino - pămîntoase produse la iradierea uraniului cu neutroni*), revista *Natur Wissenschaften*, în 12 decembrie 1938. Hahn, temîndu-se și el de erori în experimentare, intenționase să retragă comunicarea, dar revista a publicat-o fără întîrziere la 06. 01. 1939 ; astfel din acea zi fisiunea nucleară avea un act de naștere valabil.

Nici titlul comunicării și nici conținutul ei nu indicau natura fenomenului, ceea ce era o dovadă că autorii nu o sesizaseră.

Înapoindu-se la Copenhaga, Frisch l-a informat pe Bohr (la 03. 01. 1939), care plecînd în S.U.A. în vederea unor conferințe științifice, a adus la cunoștință evenimentul la 26. 01. Astfel a aflat Enrico Fermi, care se găsea și el în S.U.A.

Un prim articol pentru public a apărut la 01. 02 în Times din Londra.

Au urmat experimentări care au confirmat rezultatul celor doi cercetători germani. Frisch le-a început la 12. 01 și le-a comunicat revistei Nature la 16. 01. Droste, lucrînd în laboratorul Hahn, a întărit rezultatele. Irène Curie, Joliot Curie și Paul Savitch după experimentări începute la 26. 01. au publicat rezultatele în Comptés rendus a Academiei de Științe Franceză. R. D. Fowler și R. W. Dodson în S.U.A. anunțau și ei rezultatele lor revistei Nature, la 3.02.1939 ; la aceștia s-au mai adăugat în S.U.A. și alți cercetători.

Fenomenul confirmat prin variatele experimentări menţionate se cerea confirmat, ceea ce nu era uşor, deoarece pentru fizicieni nucleul era o structură rigidă. Pe o idee a lui Gamow, Niels Bohr a conceput fisiunea în baza unei analogii dintre nucleu şi o picătură de lichid incompresibil, făcînd-o cunoscută într-o conferinţă la Washington, la 26. 01. 1939. Pe baza acestei concepţii Frisch împreună cu Meitner au calculat energiile dezvoltate prin scindarea nucleului, folosind două căi : prin relaţia lui Einstein $W = mc^2$ aplicată defectului de masă (m = diferenţa foarte mică dintre masa nucleului şi suma maselor fragmentelor rezultate) şi prin metoda electrostatică (ţinînd seama de sarcinile electrice ale fragmentelor). Rezultatele calculelor au fost concordante, ceea ce a permis să se admită că nucleul de uraniu supus acţiunii neutronilor suferea o fisiune (termen împrumutat din biologie). Astfel s-a precizat natura fenomenului descoperit de Hahn şi Strassmann.

Această concluzie a fost comunicată de Frisch şi Meitner revistei Nature la 16.01.1939 şi a fost publicată la 16.02.1939. Astfel şi-a făcut loc în fizică un fenomen nou, cu un nume nou, fisiunea nucleară.

Cercetările au continuat activ, obţinîndu-se alte rezultate remarcabile.

În Physics Revien nr. 56/1939 a apărut studiul semnat de Niels Bohr şi H. A. Wheeler relativ la modelul „picăturii de lichid". Nucleul împreună cu neutronul incident, prin bombardament, formează un nucleu compus în stare excitată, datorită excesului de energie provenind din energia cinetică a neutronului. Energia de excitare provoacă o deformare a nucleului, care trece de la forma de sferă la una elipsoidală. În aceste condiţii elipsoidul se alungeşte, se gîtuieşte în zona de mijloc, fenomen ce se poate termina prin separare în fragmente.

În acest model, cît şi în altele care au fost concepute, rolul principal îl au acţiunile de schimb : tari, electromagnetice şi slabe.

Acţiunile tari, cărora le corespund forţele nucleare, determină o atracţie puternică în nucleu a neutronului incident, ceea ce conduce la o înaltă energie de excitare a nucleului compus intermediar. Ca urmare se produce o scindare a nucleului în două părţi. Acţiunile electromagnetice (forţele coulombiene) provoacă îndepărtarea celor două fragmente încărcate electric pozitiv, cărora li se transmite astfel energie cinetică în proporţie de 80 — 90 % din total. Restul de energie de 10 — 20 % este inclusă ca energie de excitare în fragmentele produse şi eliberată apoi prin neutroni (acţiune tare), radiaţii gama (acţiune electromagnetică) şi dezintegrare beta (acţiune slabă).

În martie 1939 Frederic Joliot, Hans von Halben şi Lew Kowarski la Paris, precum şi Leo Szilard şi Walter Zinn la New York confirmau producerea de neutroni rapizi.

În luna iunie 1939 Siegfried Fűgge tot în Naturwissenschaften, constatînd posibilitatea unei reacţii de fisiune în lanţ, datorită apariţiei a 2 — 3 neutroni, indica schema unui reactor nuclear.

Cu toate progresele realizate în fizica nucleară în curs de 50 de ani nu există o teorie bine pusă la punct a fisiunii nucleare, ci numai cîteva modele care explică satisfăcător unele aspecte, dar care contrazic altele. Această situaţie se datoreşte complexităţii existente la nivel microscopic şi reflectării simplificate a fenomenelor la nivel macroscopic.

Primele consecinţe

Aspectele teoretice principale ale fisiunii fiind lămurite prin lucrările menţionate, se putea trece la stabilirea modalităţilor practice de utilizare a fisiunii, atît în scop paşnic, cît şi distrugător. Acţiunile în acest scop s-au desfăşurat în S.U.A. şi în Germania.

La 2. 12. 1942 Enric Fermi a pus în funcţiune, la Chicago, primul reactor cu uraniu natural şi grafit ; la 6. 08. 1945 a fost lansată prima bombă atomică bazată pe uraniu, urmată de a doua bazată pe plutoniu, iar în 1954 a intrat în funcţiune Nautilus, primul submarin cu propulsie nucleară.

Savantul Werner Heisenberg a elaborat, în 1940, primele directive privind realizarea reactoarelor nucleare. În Germania acţiunea de construire a unui prim reactor, bazat pe uraniu şi apă grea, nu a putut să fie finalizată pînă la terminarea războiului.

În 1945 Otto Hahn a primit premiul Nobel la chimie pentru descoperirea fisiunii uraniului şi a fost numit preşedinte al lui Max Planck Gesellschaft.

În România cea dintîi semnalare a importanţei energiei nucleare se datoreşte dr. ing. Aurel Avramescu, în conferinţa ţinută la Institutul Român de Energie la 7 mai 1942, publicată sub titlul „Combustibilul atomic şi viitorul problemei energetice".

Bibliografie

[1] Rechenberg, H. *Transurane, Uransplatung und das deutsche Uranprojekt.* In : Physikalische Blätter, 12 (decembrie 1988, p. 453 — 459.

[2] * * * *50 Jahre Kernspaltung.* KfK Nachrichten, Kernforschungszentrum, Karlsruche nr. 4 1988.

[3] McKay, A. *The Making of the Atomic Age cap The Golden Age of Nuclear Fission.* ATOM no 395 1989 Oxford University Press, 1984.

Ing. Paul Cartianu

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

DEZVOLTAREA CENTRALELOR TERMOELECTRICE ÎN JAPONIA

În 1986 producția de energie electrică în Japonia a atins 680 TWh din care în CTE — 424, în UHE — 90, iar în CNE — 166, puterea totală instalată fiind de 170 GW.

În tabelul 1 sînt arătate valorile puterii disponibile, ale sarcinii de vîrf și ale gradului de disponibilitate în energie la trei intervale diferite.

Tabelul 1

Anul financiar 31 martie — 30 aprilie	Puterea disponibilă [GW]	Vîrful de sarcină [GW]	Rezerva [%]	Grad de disponibilitate în energie [%]
1975—76	91,2	79,1	15,3	61,7
1980—81	113,1	94,6	19,5	60,3
1983—84	118,2	107,0	10,5	59,2

Rezerva se stabilește în raport cu puterea disponibilă.

La data de 31 martie 1985 se aflau în stadiu de execuție sau de pregătire (proiectare etc.) CTE cu o putere totală de 30 GW, 22 CNE cu o putere totală de 21 GW, 71 UHE (1,1 GW) și 10 UHEAP (uzine hidroelectrice cu acumulare și pompaj) cu o putere de 8,13 GW.

Prin măsuri de creștere a resursei și duratei de funcționare și prin reconstruiri la 15 turbine ale unor blocuri de 220 — — 500 MW, în perioada 1979 — 1983 s-a realizat o creștere a randamentului cu 1,5 — 3%.

Structura consumului de combustibil este redată în tabelul 2.

În perioada 1986 — 1989 consumul de păcură se menține la nivelul de 24 mil. m³, iar în perioada 1995 — 2000 consumul de păcură va fi de 28 mil. m³, de țiței 5 mil. m³; consumul de gaze naturale în 1994 va crește pînă la 29 mil. tc.c.

Consumul de cărbune va crește în 1995 la 60 mil. tone, aceasta conducînd la scăderea treptată a ponderii păcurii. Cărbunele se importă în principal din R.S.A., Australia și R. P. Chineză. Deși are un conținut redus de sulf, cărbunele importat conține de 100 ori mai multă cenușă decît păcura (7 — 16% față de 0,05%) și de 10 ori mai mult azot (1,5 — —2% față de 0,1 — 0,3%). Structura consumului va reflecta desigur și eventualele variații ale prețurilor la combustibili.

La 31 martie 1985 în Japonia funcționau 67 blocuri la parametri supracritici (PSC), cu o putere de 40 GW, ponderea lor în puterea total instalată în CTE fiind de 42%.

La acest indicator Japonia ocupă primul loc în lume.

Toate blocurile cu o putere de și peste 450 MW sînt cu PSC, inclusiv două blocuri de 350 MW.

În Japonia funcționează cinci blocuri în ciclul apă-abur de 1000 MW și sînt în stadiile de proiectare sau execuție încă zece astfel de agregate. În perioada 1984 — 1985 au fost date în exploatare două instalații abur — gaz (IAG) cu o putere unitară de 1090 MW; se află în execuție două IAG de cîte 1000 MW și în proiectare încă zece astfel de instalații.

Datorită condițiilor dificile de seismicitate, investițiile specifice pentru CTE sînt cu circa 20% mai mari față de nivelul mediu mondial.

În tabelele 3 și 4 sînt redate investițiile specifice în prețuri 1986/1987 și costurile specifice de exploatare la barele centralei, cu precizarea că acestea din urmă sînt calculate pentru

Tabelul 2

Tipul centralelor electrice	1982		1987 (date preliminare)		1992 (prognoză)	
	Putere [MW]	Consum combustibil [mil. t c.c.]*	Putere [MW]	Consum combustibil [mil. t.c.c.]*	Putere [MW]	Consum combustibil [mil. t c.c.]*
Total :	135500		174300		223000	
din care :						
• CTE pe cărbune	6000	11,62	13750	23,45	28760	42,11
• CTE pe păcură	62000	42,20	58150	38,30	50340	29,80
• CTE pe gaze naturale, lichefiate	19710	13,20	36770	24,54	44160	31,00
• CTE pe gaze de sondă lichefiate	1100	0,80	2700	1,93	3250	2,19
• Centrale geotermale	130	—	290	—	1380	—
• CNE	16100	—	26720	—	51200	—
• UHE	30500	—	36000	—	43800	—

* 1 t c.c. = 29,3 GJ

următoarele valori ale coeficientului de utilizare anuală a puterii instalate:

— UHE — 45%
— CTE — 70%
— CNE — 70%

Duratele de execuție sînt de ordinul a 31 — 36 luni pentru o centrală pe cărbune de 300 — 700 MW, 72 — 84 luni din momentul luării deciziei pentru CNE (în ultimii ani aceasta a scăzut la 54 luni (față de S.U.A. — 120 — 144 luni, R.F.G. — — 84 — 108 luni), prevăzîndu-se pragul de 50 luni în viitorul apropiat.

La CTE geotermală de la Kakkonda investiția specifică a fost de 370 mii ieni/kWi, din care 57,3% pentru sonde, iar la CTE geotermală din Hattebara — de 255 mii ieni/kWi. Costul energiei electrice geotermale este de circa 13 ieni/kWh.

Prețul mediu la energia electrică este de 23,53 ieni/kWh. Conținutul de sulf în cărbunele energetic ars la CTE funcționînd în nouă din cele mai mari energotrusturi a fost de 0,71%, în păcură — de 0,73%, în țițeiul brut — de 0,1%, iar în medie, recalculat cu raportare la păcură — de 0,34%; conținutul mediu de sulf în gazele arse este, după filtrare, de 0,15%, față de 0,65% în anul 1973.

Tabelul 3

Tipul centralei	Puterea [MW]	Investiții speciale [mii ieni / kWt]	Cheltuieli specifice de exploatare ieni/kWh]		
			Primul an de exploatare	Media pe durata de viață*	Din care cu combustibilul [%]
UHE	10—40	640	21	13	—
CTE :					
• pe păcură	4×600	150	100	12	50
• pe gaze lichefiate	4×600	220	11	12	40
• pe cărbune	4×600	250	12	11	30
CNE	4×1100	320	12	9	25

* Pentru UHE — 40 ani, CTE — 15 ani, CNE — 16 ani.

Tabelul 4

Structura cheltuielilor de exploatare la CTE și CNE în Japonia (în %)

Componente	CTE pe păcură	CTE cu gaze naturale lichefiate	CTE pe cărbune	CNE
• TOTAL	100	100	100	100
din care :	20	27	39	50
• amortismente de exploatare	8	9	18	21
• cu combustibilul	59	62	32	19
• impozit pentru țiței	13	2	—	—
• cheltuieli cu scoaterea CNE din cheltuieli exploatare	—	—	—	10
• cheltuieli cu construcția centrelor de primire a cărbunelui	—	—	13	—

Normele concentrațiilor-limită admise ale produselor nocive în atmosferă sînt următoarele :

Produse nocive	*U/M*	Medie zilnică	Medie pentru 8 ore	Medie pentru 1 oră
• Bioxid de sulf	%	$0,04.10^{-4}$	—	$0,1.10^{-4}$
• Particule, solide	mg/m³	0,1	—	0,2
• Oxizi de azot	%	$(0,04—0,06).10^{-4}$	—	—
• CO	%	10.10^{-4}	20.10^{-4}	—
• Oxidanți	%	—	—	$0,06.10^{-4}$

Înălțimea coșurilor de fum este în medie de 150 m, atingînd uneori și 200 m. Filtrele de cenușă mecanice și electrofiltre se instalează nu numai la centralele pe cărbune, ci și la cele pe păcură.

Din anul 1968 focarele cu o capacitate de 45 GW se dotează cu instalații de reținere a sulfului (numărul lor a atins cifra de 1500). Cele mai răspîndite sînt instalațiile firmei Mitzubisi, cu producerea de gips, al căror grad de reținere a sulfului este de peste 90%. Pentru Japonia această metodă este preferată deoarece lipsește gipsul natural, din care cauză el este foarte scump.

Producția de gips la un bloc de 1000 MW, la un conținut de sulf în cărbune de 1%, este de 500 t/24 ore. La 31 martie 1985 un număr de 59 blocuri energetice a fost dotat cu instalații umede de reținere a sulfului. Se fac cercetări pentru metodele uscate cu care se poate obține sulf comercial.

(După : Energohoziaistvo za rubejom nr. 3, 1988)

LUCRĂRILE DE DEZAFECTARE A CNE LA TERMINAREA DURATEI DE EXPLOATARE

În noiembrie 1987 a avut loc, sub egida Agenției Internaționale pentru Energie Atomică, primul simpozion internațional în problemele dezafectării instalațiilor nucleare, la care au participat 225 specialiști din 26 țări.

Problema dezafectării CNE la expirarea duratei lor de funcționare este legată de rezolvarea unui întreg complex de probleme cu caracter economic, tehnico-științific și ecologic. În ultimii 9 ani s-au întreprins numeroase cercetări complexe și specializate în țări ca S.U.A., R.F.G., Japonia etc., în problemele dezafectării reactoarelor de tip PWR și BWR, luînd în considerare particularitățile tehnologice ale lucrărilor pregătitoare.

În aceste țări, precum și în Franța, Marea Britanie etc., sînt deja elaborate sau în curs de elaborare programe concrete de oprire a exploatării CNE. Cea mai mare experiență s-a acumulat în S.U.A., unde, începînd din 1960 pînă în 1987, au fost oprite 50 instalații de cercetare și 20 reactoare energetice. Din septembrie 1987 se dezafectează prima CNE dotată cu un reactor cu apă ușoară de 72 MW, care a intrat în funcțiune în 1957 și a fost oprit în 1982, producînd 7,2 TWh pe întreaga perioadă de exploatare.

Cheltuielile de dezafectare se apreciază la circa 100 mil. dolari. Deși nu există o suficientă experiență, specialiștii au ajuns la concluzia unanimă că este posibilă dezafectarea oricărei instalații nucleare, în condiții de securitate, utilizînd metodele moderne de lucru și aplicînd diverse variante de etapizare a lucrărilor.

S-au conturat trei stări (stadii) principale în care se poate afla instalația nucleară în procesul de dezafectare, și anume :

1 — menținerea instalației oprite, sub supraveghere, pe o durată între 5 și 100 ani de la oprirea ei definitivă ;

2 — conservarea instalației cu demontarea parțială a echipamentelor, cu o durată de 5 — 7 ani ;

3 — demontarea totală a instalației, a cărei începere se recomandă a se face după 10 ani de la oprirea reactorului ; durata se apreciază la 5 — 7 ani.

Factorul comun la toate cele trei stadii este faptul că se îndepărtează combustibilul nuclear atît din reactor, cît și de pe teritoriul instalației nucleare.

1. Primul stadiu (menținerea sub observație) presupune îndepărtarea agentului de răcire din circuit. Corpul reactorului nu se demontează, dar toate conductele și armăturile de închidere se blochează și se ermetizează. Sistemele de ventilație din interiorul anvelopei de protecție continuă să funcționeze în regim normal. În mod periodic se iau probe de aer și se efectuează controarele vizuale ale anvelopei și evaluări ale stării de radiație la CNE.

2. Pentru trecerea CNE în starea a doua (al doilea stadiu) se realizează demontarea întregului echipament neradioactiv, în scopul utilizării acestuia pentru destinații directe sau pentru alte utilități, la alte obiective. Echipamentul care nu se demontează se ermetizează în spații închise (boxe). Sistemul de ventilație se demontează. În esență, clădirea reactorului se transformă într-un depozit de materiale radioactive, pentru un termen îndelungat.

3. În cazul în care CNE se află în stadiul al treilea, aceasta înseamnă că întreg echipamentul și toate construcțiile, a căror radioactivitate depășește un anumit nivel, se îndepărtează de pe teritoriul CNE pentru prelucrare ulterioară și îngropare. Terenul astfel dezafectat se supune dezactivării pentru ca să poată fi utilizat în alte scopuri, fără nici un fel de restricții.

Transferarea CNE în primul sau al doilea stadiu poate constitui atît metodă independentă de dezafectare, cît și etapă intermediară în procesul de demontare totală a CNE. Luînd în considerare deficitul de noi amplasamente pentru CNE, constatat în numeroase țări, și ținînd cont de aspectele ecologice și economice ale dezvoltării energeticii, specialiștii recomandă ca metodă de bază pentru dezafectare comasarea primului stadiu cu cel de-al treilea.

Cea mai mare complexitate o prezintă, în mod evident, lucrările de lichidare a CNE. Un institut de cercetări științifice din Japonia a elaborat o tehnologie de dezafectare a primului reactor energetic japonez, care prevede următoarea ordine secvențială a acțiunii de dezafectare: mecanismele periferice, echipamentul reactorului, corpul reactorului alte categorii de mecanisme, stratul de beton radioactiv, anvelopa de protecție a reactorului, și, în sfîrșit, celelalte lucrări de construcții.

După evaluările unor experți americani, la demontarea totală a unui bloc energetic nuclear de 1100 MW (inclusiv a construcțiilor și a betoanelor) rezultă o cantitate de 540 — 560 mii tone de deșeuri, din care 98% se formează la dezintegrarea construcțiilor de beton; nivelul de radioactivitate al acestor deșeuri este destul de scăzut, recomandîndu-se utilizarea lor ca materiale de construcții.

După informațiile furnizate de specialiștii americani, la demontarea unui bloc energetic nuclear, care ar fi construit pe baza unui proiect perfecționat, volumul deșeurilor slab active ar fi de 188 mii m³, iar al celor active, de 100 m³. În cazul unei conservări preliminare, pe o durată de 50 ani, volumul deșeurilor slab active scade de 10 ori.

Deși din cantitatea totală de deșeuri, ponderea celor înalt active este mică, de ordinul a 2%, greutatea acestora în valoare absolută este destul de mare. Astfel, pentru o CNE standard cu o putere de 900 MW, ea este de 8 — 10 mii t.

O atenție deosebită se acordă problemelor tăierii construcțiilor de beton și din beton armat. Grosimea betonului la clădirea reactorului este de 800 — 1000 mm, dar profunzimea stratului activat este de numai 100 — 120 mm. Dacă se elimină stratul radioactiv, restul construcției se poate refolosi sau distruge prin metode uzuale.

În Japonia s-a stabilit că eliminarea acestui strat se poate face prin metode termice, chimice, mecanice (discuri, burghie etc.).

Se elaborează metode de îndepărtare a acestui strat (care micșorează cantitatea de aerosoli radioactivi) ca exploziile direcționate, utilizarea arzătoarelor cu amestec de gaz și oxigen, instalații laser și hidrolaser. De perspectivă se consideră, în Japonia, metodele bazate pe tehnica laserului. Pe lîngă acestea, în această țară se elaborează mijloace tehnice speciale pentru demolarea construcțiilor din beton armat și a celor din beton placat cu foi de oțel, care să poată fi utilizate în spații înguste.

Mari complicații apar la demontarea protecției biologice a reactorului nuclear, care reprezintă un perete circular din beton puternic armat, cu o grosime de 1,5 — 3 m și un înalt nivel de reactivitate remanentă în partea lui interioară. Japonezii utilizează aici două metode: exploziile dirijate (în urma cărora betonul se acoperă cu crăpături și apoi se fărămițează cu destulă ușurință) și lovitura hidraulică la presiunea de 200 MPa*. Ambele metode au atît avantaje, cît și neajunsuri.

Se realizează totodată numeroase cercetări pentru crearea unor dispozitive comandate de la distanță, activitate care prezintă o complexitate deosebită.

În Marea Britanie, pentru dezafectarea unei reactor cu gaz și grafit s-a realizat o instalație specială, avînd greutatea de 300 t și înălțimea de 27 m, care include un turn de demontaj cu manipulatoare și cu instalație de prelucrare a deșeurilor radioactive. Platforma rotativă cu care este dotat turnul, avînd un diametru de 8 m, poate fi coborîtă înăuntrul reactorului cu 20 m.

Este foarte important de subliniat faptul că încă din stadiul de proiectare a reactorului, a clădirii acestuia și a instalațiilor auxiliare este necesar și posibil să se prevadă astfel de soluții constructive, ușor de realizat, care să conducă la simplificarea substanțială a operațiilor de dezafectare a CNE, după terminarea duratei de funcționare a acesteia.

O astfel de abordare, care își face drum tot mai larg pe plan mondial, duce la simplificarea și ieftinirea considerabilă a operațiilor de dezafectare. Astfel, în Franța sînt în pregătire recomandări care vor deveni obligatorii la elaborarea proiectelor CNE din noile generații.

La începutul anilor '70 în S.U.A. se aprecia că cheltuielile cu dezafectarea CNE nu depășesc 10% din valoarea lucrărilor de execuție a acestora. Dar la sfîrșitul anilor '70, calculele au arătat că cheltuielile au crescut de două ori, ajungînd ca pentru un reactor de 1175 MW acestea să fie de ordinul a 40 — 55 mil. dolari. În prezent, conform calculelor diferiților specialiști din numeroase țări, cheltuielile specifice de dezafectare a CNE variază în intervalul de 50 — 210 dolari/kWi.

Majoritatea specialiștilor apreciază ca fiind mai apropiat de realitate nivelul superior (210 dolari/kWi).

Dat fiind tendința de creștere a cheltuielilor cu dezafectarea CNE, Comisia pentru reglementarea problemelor în domeniul tehnicii nucleare din S.U.A. recomandă să se prevadă formarea în avans a fondurilor financiare necesare dezafectării. Astfel, se analizează chiar și propunerea de a se mări cu 10% tariful la energia electrică pentru a se forma în acest fel fondul necesar demontării CNE.

În ansamblu, experiența acumulată pe plan mondial arată că dezafectarea CNE constituie un proces extrem de complicat și de lungă durată, care reclamă elaborarea și execuția unui număr mare de dispozitive specializate, o pregătire minuțioasă și care se desfășoară pe o perioadă lungă, cu cheltuieli substanțiale de resurse materiale și umane.

Această situație ridică în mod deosebit de serios problema căutării căilor de prelungire a duratelor de funcționare a CNE, prin perfecționarea lucrărilor de construcție, a elementelor de combustibil și asigurarea posibilităților de înlocuire a diverselor subansambluri ale echipamentelor.

Concluzii

1. După evaluările specialiștilor, costul dezafectării totale a unei CNE este în creștere, atingînd sau chiar depășind, în unele cazuri, costul execuției unei noi CNE.

2. La elaborarea proiectelor CNE din noua generație este stringent necesar să se ia în considerare, încă de la faza de concepție, particularitățile tehnologice ale dezafectării cu demontare completă, după oprirea funcționării CNE.

3. Luînd în considerare complexitatea și creșterea cheltuielilor cu dezafectarea CNE, este deosebit de oportună analizarea posibilităților de creștere a duratelor de viață (funcționare) de 1,5 — 2 ori față de cele actuale, prin înlocuirea parțială a echipamentelor tehnologice și dezactivarea construcțiilor.

Ing. Mihai Nistor

* 1 Pa = $0{,}987 \times 10^{-5}$ atm. fiz. = $1{,}02 \times 10^{-5}$ atm. tehn. = 10^{-5} bar; 1 bar 0,1 MPa; 1 MPa = 10^{6} Pa; 200 MPa = 200 bar.

(Prelucrare după publicația „Energheticeskoe stroitelstvo za rubejom" — nr. 5/1986, pag. 17—19)

PAUL DIMO (1905—1990)

În ziua de 17 aprilie 1990, după o lungă suferință, s-a stins din viață cel ce a fost acad. dr. doc. ing. Paul Dimo. Descendent dintr-o familie de ingineri (el fiind a treia generație) Paul Dimo s-a născut în Turnu Severin la 10 iunie 1905. Tatăl său, Petre Dimo (1873—1942), a fost inginer constructor de poduri și șosele și director în Ministerul Lucrărilor Publice, remarcîndu-se prin realizări deosebite în acest domeniu.

Paul Dimo a absolvit cursurile Școlii Politehnice din București în anul 1928. A obținut diploma de inginer electromecanic, după care și-a desăvîrșit studiile la Școala Superioară de Electricitate din Paris în 1930.

Și-a început activitatea de inginer la Societatea Generală de Gaz și Electricitate din București, devenind șeful departamentului central, iar ulterior director tehnic. În timpul activității sale a condus modernizarea centralelor Grozăvești și Filaret. De asemenea, a condus studiile pentru dezvoltarea în perspectivă a surselor de energie electrică pentru alimentarea orașului București.

În anul 1945, ca urmare a abuzurilor politice din acea vreme, Paul Dimo a fost îndepărtat din activitate, fără vreun temei îndreptățit, situație care a durat pînă în 1948.

În perioada 1948—1965 Paul Dimo a lucrat în cadrul Institutului de Studii și Proiectări Energetice, contribuind la organizarea acestuia, la formarea specialiștilor pe probleme, fiind în fapt conducătorul științific al activității legate de proiectarea, dezvoltarea și funcționarea sistemului energetic național. El a participat la lucrările primului program de electrificare a României.

În paralel cu activitatea de studii și cercetări din cadrul ISPE, Paul Dimo a fost consultant specialist în toate problemele privind dezvoltarea sistemului energetic românesc. În toată această perioadă, s-a implicat direct în munca de cercetare și proiectare.

Este autorul procedurilor grafice de analiză a regimurilor sistemelor electroenergetice, punînd bazele teoriei românești „analiza nodală" cu două concepte, și anume : echivalentul REI/DIMO și imaginea nodală DIMO.

Între anii 1949 și 1970, în paralel cu activitatea din ISPE, Paul Dimo și-a continuat cercetările și a coordonat activitatea științifică a Laboratorului de Sisteme Electroenergetice din Institutul de Energetică al Academiei Române. Începînd cu anul 1970 și pînă la pensionare (1977) și-a desfășurat activitatea în cadrul Institutului de Cercetări și Modernizări Energetice (ICEMENERG) al Ministerului Energiei Electrice. Și în ICEMENERG Paul Dimo a creat un colectiv de specialiști în domeniul „sisteme electroenergetice". După această perioadă a continuat activitatea în calitate de specialist consultant și conducător spiritual al colectivului, care a beneficiat de îndrumări competente pînă aproape de sfîrșitul vieții sale.

Paul Dimo a fost un exemplu de fericită îmbinare între inginer și om de știință. Activitatea creatoare depusă de el în cei peste cincizeci de ani s-a desfășurat aproape în exclusivitate în plan intelectual, dar ideile au fost născute din simțul practic al inginerului, de realitățile tehnico-economice ale societății. Ca o exemplificare stau mărturie cele trei brevete de inventator în domeniul evitării supratensiunilor prelungite, analizorul grafic DIMO și anagraful modular, ultimele două fiind brevetate și în țări avansate din punct de vedere energetic (S.U.A. ,R.F.G., Anglia, Canada, Franța ș.a.).

Paul Dimo s-a manifestat mai întîi pe plan național, iar consacrarea pe plan internațional a corespuns cu traducerea lucrării lui de căpătîi „Analiza nodală" în principalele limbi de circulație internațională : franceză, engleză, rusă.

Autor a peste 120 de lucrări publicate în țară și străinătate, are o serie de merite recunoscute atît pe plan național, cît și pe plan internațional.

Paul Dimo a primit Premiul de Stat împreună cu colectivul care a elaborat lucrările deosebite pentru :

— electrificarea României (1950) ;
— proiectul hidrocentralei Moroieni (1954).

De asemenea, în 1955 i s-a decernat individual Premiul de Stat pentru lucrarea originală *„Cauzele supratensiunilor prelungite în rețelele cu neutrul izolat"* (1955).

Pentru lucrările sale în domeniul stabilității sistemelor electroenergetice, în anul 1961 Paul Dimo a primit prestigiosul premiu al Academiei Române „Traian Vuia", iar ca o recunoaștere a meritelor științifice a fost numit în 1963 membru corespondent al Academiei Române.

Institutul Politehnic București îi acordă în anul 1968 titlul de doctor inginer și apoi doctor docent în anul 1970.

În anul 1990 după repunerea Academiei Române în toate drepturile sale, Paul Dimo a devenit membru titular al acesteia.

Lucrările publicate de Paul Dimo în domeniul de vîrf al electroenergeticii i-au adus un deosebit prestigiu peste hotare, ceea ce a condus la decernarea în 1980 a Premiului Fundației Montefiore.

Este, de asemenea, autorul unui eseu într-un nou domeniu al informaticii inginerești *„Ergonomie intelectuală cu modelul de rețea"*, Editura Academiei 1983.

Paul Dimo rămîne în memoria noastră ca întemeietor de școală de cercetători și proiectanți din domeniul sisteme electroenergetice, cu larg ecou în străinătate.

Colaboratorii apropiați și redacția revistei Energetica

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ЕМИЛ КОСТИН: Эволюция тарифной системы электрической энергии в Румынии, в период 1950—1990 гг 189—195

РАЗВИТИЕ ЕНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

АНКА ПОПЕСКУ, МИРЧА ЧИОБАНУ, ДОЙНА ПОПОВИЧ, ГЕОРГЕ ВЫЛЧЕРЯНУ, ФЛОАРЯ БРЯЗУ: Чувствительность оптимальных уровней аварийного запаса и степени надежности электроэнергетической системы при изменениях влияющих на нее параметров 196—203

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ГЕОРГЕ НИКОЛАУ: Математическая модель, алгоритм и программа механического расчета проводов линий электропередачи 204—210

ИОАН ФЕЛЯ, ТЕОДОР МАГИАР, ДАН КАРЦИШ ФЛОРИАН ДЕМИАН, НИКОЛАЕ ДРЭГИЧ: Относительно метода компенсации реактивной мощности у потребителей электрической энергии 210—217

ЛАУРЕНЦИУ МИРОН ГОЙЯ, КОНСТАНТИН ПАНТАЗИ: Новые устройства электробезопасности, реализованные в ИЧЕМЭНЕРГ 218—222

НОВЫЕ ИСТОЬНИКИ

СТОИАН ПЕТРЕСКУ, МОНИКА КОСТЕА, РОКСАНА ЙОРДАКЕ: Сравнение между циклом Брайтон, реализованным поршневыми машинами и циклом установки ГТУ с сжиганием прм постоянном объеме, ввиду применения в области солнечной энергетики 223—228

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ЕУДЖЕНИУ ПАВЕЛ: Жан-Баптист Фурье и ряды Фурье 229—231

ПАУЛ КАРТИАНУ: 50-летие открытия ядерного деления 231—233

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 203, 234—236

DE PERSONIS 228, 237

INHALT

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

EMIL COSTIN: Entwicklung des Tarifsystems für Elektroenergie in Rumänien in den Jahren 1950—1990 189—195

ENTWICKLUNG DER ENERGIESYSTEME

ANCA POPESCU, MIRCEA CIOBANU, DOINA POPOVICI, GHEORGHE VÂLCEREANU, FLOAREA BREAZU: Empfindlichkeit der optimalen Niveaus der Störungsreserve und des Sicherheitsgrades eines Elektroenergiesystems während der Veränderung der sie beeinflussenden Parameter 196—203

ELEKTRISCHE NETZE

GHEORGHE NICOLAU: Mathematisches Modell, Algorythmus und mechanisches Rechenprogramm für Freileitungsleiter 204—210

IOAN FELEA, TEODOR MAGHIAR, DAN CARȚIȘ, FLORIAN DEMIAN, NICOLAE DRĂGHICI: Zur Wirkleistungskompensation bei Elektrizitätsverbrauchern 210—217

LAURENȚIU MIRON GOIA, CONSTANTIN PANTAZI: Neue in ICEMENERG entwickelte Einrichtungen für elektrische Sicherheit 218—222

NEUE ENERGIEQUELLEN

STOIAN PETRESCU, MONICA COSTEA, ROXANA IORDACHE: Vergleich zwischen dem mit Kolbenmaschinen realisierten Brayton-Zyklus und dem Zyklus der Gasturbinenanlage mit Verbrennung bei Konstantvolumen zur Anwendung in Sonnenenergieanlagen 223—228

GESCHICHTE DER ENERGIEWIRTSCHAFT

EUGENIU PAVEL: Jean-Baptisie Fourier und die Fourier-Reihen 229—231

PAUL CARTIANU: 50 Jahre seit der Entdeckung der Kernspaltung 231—233

NEUGIKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 203, 234—236

DE PERSONIS 228, 237

SOMMAIRE

ORIENTATIONS DES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

EMIL COSTIN: Evolution du système de tarifs pour l'énergie électrique en Roumanie dans les années 1950—1990 189—195

DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

ANCA POPESCU, MIRCEA CIOBANU, DOINA POPOVICI, GHEORGHE VÂLCEREANU, FLOAREA BREAZU: La sensibilité des niveaux optimaux de la réserve d'avarie et du degré de sécurité d'un système électroénergétique en fonction des paramètres qui les influencent 196—203

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

GHEORGHE NICOLAU: Modèle mathématique et logiciel mécanique des conducteurs des lignes électriques aériennes 204—210

IOAN FELEA, TEODOR MAGHIAR, DAN CARȚIȘ, FLORIAN DEMIAN, NICOLAE DRĂGHICI: Sur le mode de compensation de la puissance réactive des consommateurs d'énergie électrique 210—217

LAURENȚIU MIRON GOIA, CONSTANTIN PANTAZI: Dispositifs nouveaux de sécurité électrique réalisés par ICEMENERG 218—222

NOUVELLES SOURCES

STOIAN PETRESCU, MONICA COSTEA, ROXANA IORDACHE: Comparaison entre le cycle Brayton avec combustion à volume constant afin de les employer dans l'énergétique solaire 223—228

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

EUGENIU PAVEL: Jean-Baptiste Fourier et les séries Fourier 229—231

PAUL CARTIANU: 50 ans depuis la découverte de la fission nucléaire 231—233

NOUVEAUTÉS

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 203, 234—236

DE PERSONIS 228, 237

CONTENTS

TRENDS IN ENERGY POLICY

EMIL COSTIN: Evolution of the Electric Power Tariff System in Romania Within the Period 1950—1990 189—195

ENERGY SYSTEM DEVELOPMENT

ANCA POPESCU, MIRCEA CIOBANU, DOINA POPOVICI, GHEORGHE VÂLCEREANU, FLOAREA BREAZU: Optimal Levels Sensitivity of the Power System Damage Reserve and Safety Degree During Their Parameters Variation 196—203

ELECTRIC NETWORKS

GHEORGHE NICOLAU: Mathematical Model, Algorithm and Mechanic Calculation Program of OH Lines Conductors 204—210

IOAN FELEA, TEODOR MAGHIAR, DAN CARȚIȘ, FLORIAN DEMIAN, NICOLAE DRĂGHICI: On the Reactive Power Compensation at Electricity Users 210—217

LAURENȚIU MIRON GOIA, CONSTANTIN PANTAZI: New Power Safety Devices Realized by ICEMENERG 218—222

NEW ENERGY

STOIAN PETRESCU, MONICA COSTEA, ROXANA IORDACHE: Comparison Between the Brayton Cycle with Reciprocating Engines and the Gas Turbine Cycle with Constant Volume Combustion With a View of Being Used in Solar Energetics 223—228

THE HISTORY OF ENERGY

EUGENIU PAVEL: Jean-Baptiste Fourier and Fourier's Series 229—231

PAUL CARTIANU: 50 Years Since the Discovery of Nuclear Fission 231—233

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 203, 234—236

DE PERSONIS 228, 237

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor șef : **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori șefi adjuncți : **dr. ing. Radu Enache, dr. ing. Cezar Ionescu**

Secretar de redacție : **dr. ing. Teodor Popa**

Reprezentantul ministrului energiei electrice : **ing. Radu Opincaru**

Orientări în energetică. Economia energetică : **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice : **ing. Alexandru Florescu, dr. ing. Adrian Badea**

Dezvoltarea sistemelor energetice : **dr. ing. George Manolescu, dr. ing. Andrei Cristovici**

Conducerea și automatica SE : **ing. Iuliu Blechtal, dr. ing. Marius Pomârleanu**

Centrale termoelectrice : **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, dr. ing. Dan Goliciu**

Centrale hidroelectrice : **dr. ing. Valeriu Nistreanu, dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice : **ing. Gabriel Romașcu, ing. Alexandru Mihăilă, dr. ing. Alecu Marian**

Rețele electrice : **ing. Dinu Voinea, dr. ing. Laurențiu Gola**

Alimentare cu căldură : **dr. ing. Victor Athanasovici, ing. Nicolae Niculescu**

Surse noi de energie : **ing. Constantin Popescu, ing. Gheorghe Voicu**

Chimia în energetică : **dr. chim. Maria Maftei, chim. Mihai Chiricа**

Protecția mediului : **ing. Margarios Salgian, ing. Cornel Moțiu**

Organizarea producției și a muncii : **ing. Miron Popescu**

Terminologia în energetică : **dr. ing. Iosif Cserveny**

Istoria electrificării : **ing. Paul Cartianu**

Noutăți : **ing. Paul Rașcu, dr. ing. Virgil Mușatescu, ing. Anton Roșu**

Centre universitare :

Iași : **prof. dr. ing. Alexandru Poeată, prof. dr. ing. Dumitru Ivas**

Timișoara : **prof. dr. ing. Iulian Heinrich, prof. dr. ing. Viorel Negru**

Redactor : **Ana Maria Chivu**

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.

Vasile Pleșca—șef OIDE

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — Banca Română, fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament : 144 lei anual; costul unui exemplar : 12 lei.

Redacția și administrația : București 79619, ICEMENERG, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3, telefon : 20. 67. 30, 21. 46. 30

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

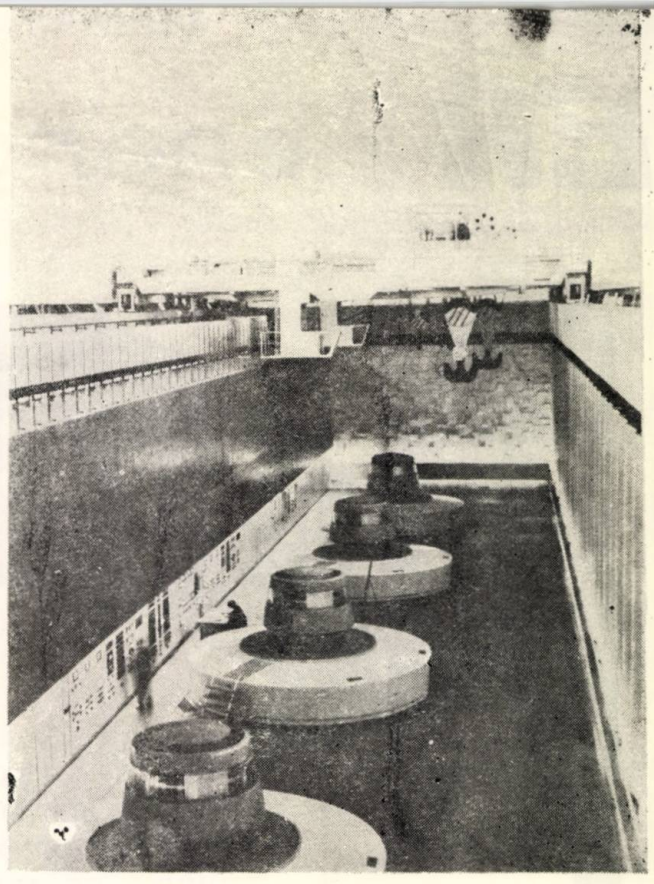
- **The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review „Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review „Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentationse of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review „Energetica" publiches on request from authors abroad reports of other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subcribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P-O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64-66, București — România.**

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Universul", București, str. Brezoianu 23—25 c. 2114

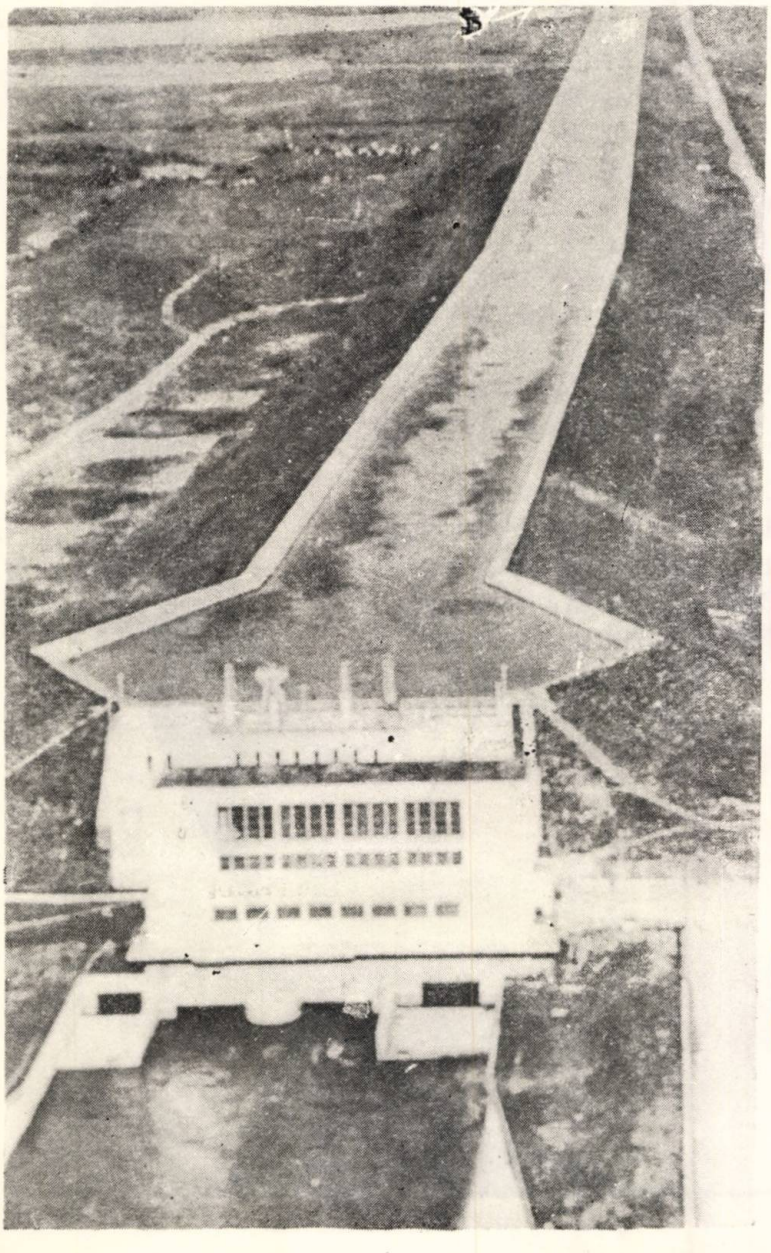
I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI

PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :



RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ER : energoreparații
Bd. Mărășești nr. 2, sector 4, 75117 București, Telefon: 232640, Telex: 10635

1991 MAR 22

EXECUTA :

- PIESE DE SCHIMB, SUBANSAMBLURI DE SCHIMB SI RECONDITIONARI PENTRU TURBINE CU ABUR, TURBINE HIDRAULI, CE, MASINI SI INSTALATII AUXILIARE ;
- MACARALE, MECANISME DE RIDICAT, DISPOZITIVE PENTRU MECANIZARE SI SCULE SPECIALE PENTRU REPARAREA INSTALATIILOR ENERGETICE ;
- PLATFORME RIDICATOARE TELESCOPICE SAU CU BRATE, PENTRU LUCRU LA INALTIMI PINA LA 27 m ;
- ECHIPAMENTE PENTRU MONTAREA CONDUCTOARELOR LEA PRIN TRAGERE CU FIR PILOT ;
- ECHIPAMENTE PENTRU INVESTITII SAU PENTRU MODERNIZAREA INSTALATIILOR ENERGETICE ;
- SERVICII : EXPERTIZE PENTRU VIBRATII, ECHILIBRARI DINAMICE IN FUNCTIONARE, VERIFICARI SPECTROGRAFICE RAPIDE, ANALIZE CHIMICE SI METALOGRAFICE, PROIECTARE CONSTRUCTIVA SI TEHNOLOGICA PENTRU PIESE DE SCHIMB SI RECONDITIONARI ETC.

E2039
REFERALVA
EPE

MW

6-7

Cuprins

ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

NICOLAE LICIU: **Modalităţi de analiză a energointensivităţii economiei naţionale** 241—245

ENERGETICA ÎN UNITĂŢI ECONOMICE

TITUS DORU HAŢIEGAN: **Optimizarea consumurilor de energie în întreprinderi miniere** 246—251

ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAŞCU, LIVIU MILEA: **Analiza comportării consumatorilor de tip „extracţie petrol" în condiţii de alimentare cu tensiune variabilă** 252—258

SAVA PORNEALĂ: **Transformatoare de căldură cu absorbţie, cu mai multe trepte** 258—263

DEZVOLTAREA SISTEMULUI ENERGETIC

VICTOR IANCOVICI: **Criza energetică — unele cauze principale şi cîteva condiţii pentru lichidarea ei** 264—270

MANFRED STEIN, CHRISTIANA BĂRBULESCU, ADELA CIUPULIGA: **Un model pentru calculul fiabilităţii în cazul rezervării pasive "în stoc" (RS) a echipamentelor reparabile** 271—276

VIRGIL ALEXANDRESCU, GHEORGHE CÂRŢINĂ, EUGEN VOINEA, ROMULUS SFICHI: **Calculul regimurilor permanente ale reţelelor de medie tensiune de interconexiune ale MHC—CHEMP** 276—280

CENTRALELE TERMOELECTRICE

MIHAI RUSU, CONSTANTIN SÂRBU, DUMITRU GÂRDAN: **CET Drobeta-Turnu-Severin** 281—288

IOANA IONEL, CORNEL UNGUREANU, ANDREI GOGU: **Studii pe bază de derivatograme ale comportării mixtelor de huilă de la Petrila în procesul de aprindere şi ardere** 288—292

RADU RĂŞCANU, GABRIEL ROMAŞCU: **Suporţi amortizori de şoc pentru conducte în centrale electrice** 292—295

REŢELE ELECTRICE

FLORIN MUNTEANU, DUMITRU IVAS, LAURIAN PREDA, PETRE LEONTE, EMILIAN FURNICĂ: **Posibilităţi de diagnosticare a defectelor în instalaţiile de înaltă tensiune** 296—300

SURSE NOI

GERARD J. W. Van BUSSEL: **Stadiul dezvoltării energeticii vîntului în Olanda** 301—307

TEHNOLOGII CHIMICE ÎN ENERGETICĂ

LUCIAN NEGULESCU: **Condiţii privind chimismul coroziunii fisurante sub tensiune la cazanele cu abur** 309—316

ORGANIZAREA PRODUCŢIEI ŞI A MUNCII

MIRCEA EREMIA, EMIL SCARLAT: **Aspecte privind proiectarea sistemelor expert pentru conducerea activităţii într-o staţie electrică** 316—322

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

PAUL CARTIANU: **La 50 de ani de la stingerea din viaţă a unui Arthur-Erwin Kennelly** 323

: **Un electrician român a cărui activitate a început în secolul trecut (Laurenţiu Teodoreanu)** 324

NOUTĂŢI

INVENŢII — INOVAŢII 325

DE LA COMITETUL NAŢIONAL ROMÂN AL CIGRE 326—331

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 263, 324,

DIN PARTEA ASOCIAŢIEI ROMÂNE PENTRU ENERGIA VÎNTULUI — ROWEA 308

RECENZIE 332

energetica

VOLUMUL XXXVIII

BUCUREŞTI

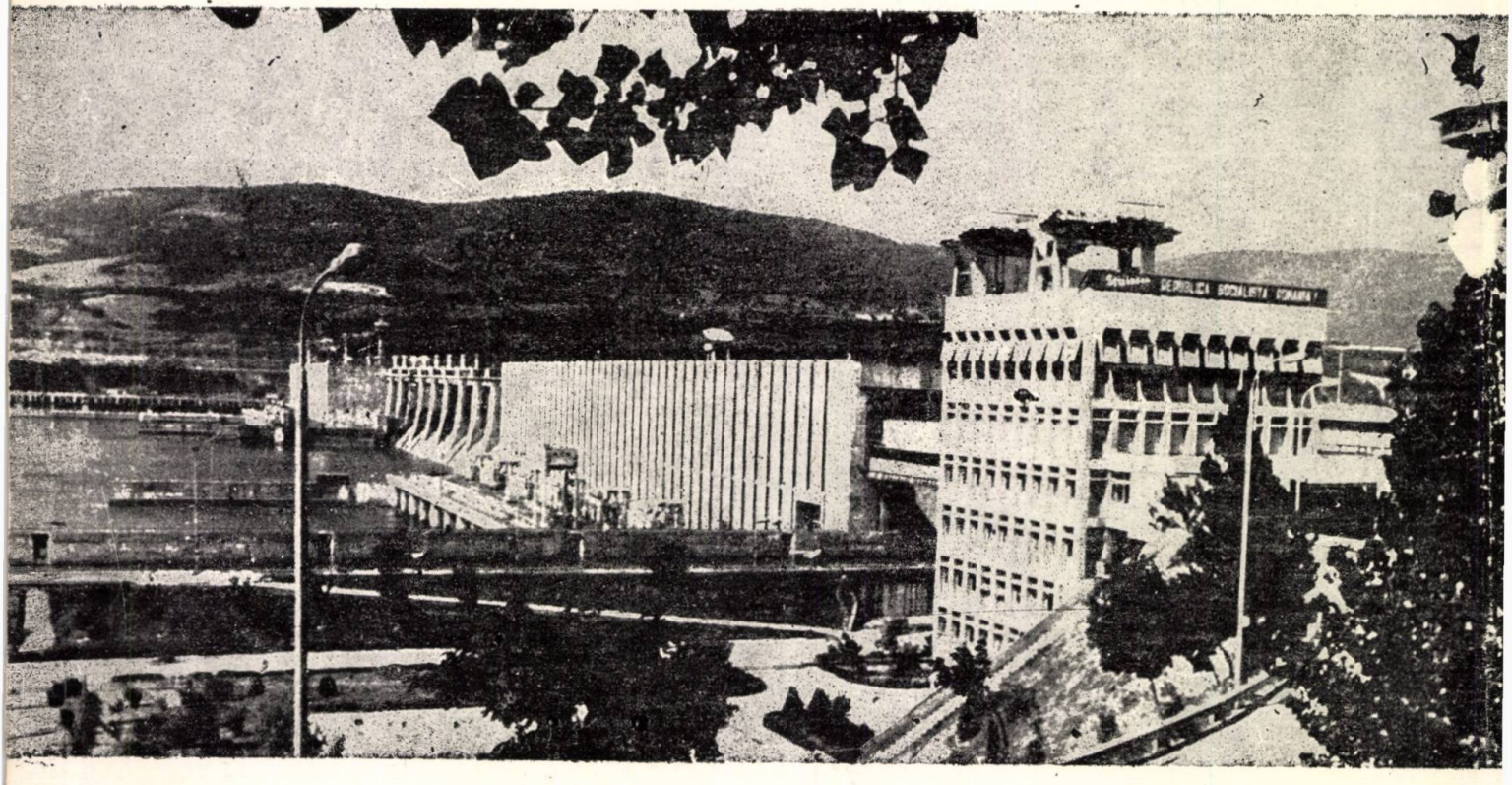
IUNIE-IULIE 1990

TAGCH

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1 COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în țară și în străinătate amenajări hidroenergetice (baraje, tuneluri, centrale hidroelectrice) și lucrări hidrotehnice complexe



1931 APR 1

ENERGETICA

REVISTĂ DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

Anul 38 Nr. 6—7 iunie—iulie 1990

Orientări în energetică

Modalităţi de analiză a energointensivităţii economiei naţionale

Dr. ing. NICOLAE LICIU *

Descriptori: energetică generală

Pornind de la faptul că economia românească în ansamblu, unele ramuri, subramuri şi produse sînt mari consumatoare de purtători de energie, examinarea modalităţilor de analiză a energointensivităţii acestora reprezintă preocupări esenţiale de politică energetică, în actualele condiţii în care se urmăreşte tranziţia economiei româneşti spre o economie de piaţă, competitivă pe plan internaţional.

După ce se prezintă principalii factori care determină energointensivitatea la diferite niveluri, în lucrare se remarcă faptul că energointensivitatea venitului naţional este substanţial mai mare decît energointensivitatea produsului social, întrucît include şi consumul de energie încorporată prin materialointensivitate.

Analiza energointensivităţii, absolute, în dinamică sau în comparaţie cu alte ţări, se propune să se efectueze la nivelul venitului naţional şi produsului social, al principalelor ramuri ale producţiei materiale (industria, agricultura, transporturile etc.), precum şi pentru ramurile industriale energointensive, inclusiv produsele de bază ale acestora.

În contextul energoeconomic actual al ţării noastre, se apreciază că o analiză a energointensivităţii economiei naţionale, a ramurilor şi sectoarelor sale, poate şi trebuie să fie făcută cu sprijinul unor cercetători şi specialişti în probleme de politică energetică şi ar dura 1—2 luni.

Starting from the fact that the Romanian economy on the whole, certain branches, sub-branches and products are important users of energy carriers, the investigation of the analysis methods of their power intensive character represents major concerns of the power policy under the present conditions of the Romanian economy transition to a worlwide, competitive market economy.

After the presentation of the fundamental factors which determine the power intensive character at various levels, the author underlines that the power intensive character of the national revenue is substantially bigger than the one of the social product, as it also includes, through the material, the incorporated power consumption.

The analysis of the absolute power intensive character in dynamics, or in comparison with other countries, should be carried out at the level of the national revenue and of the social product, of the main branches of goods production, industry, agriculture, transports a.s.o. as well as for the industrial branches with a power intensive character, their basic products included.

Within the present energetic context of our country, the analysis of the power intensive character of our national economy, with its branches and domains can and should be done with the help of scientists and experts in power policy problems and it would take 1 — 2 months.

Este cunoscut faptul că economia românească în ansamblu (unele ramuri şi subramuri mai mult decît altele) este energointensivă. De aceea, examinarea modalităţilor de analiză a energointensivităţii reprezintă preocupări esenţiale de politică energetică, de o actualitate stringentă, mai ales în condiţiile prezente de tranzitare a economiei româneşti spre o economie de piaţă, spre o economie cu un înalt grad de competitivitate pe plan european şi mondial.

În fond, cînd se afirmă că în ţara noastră se consumă de 2-3 ori mai multă energie pe unitatea de venit naţional creat decît în unele ţări dezvoltate economic, aceasta reflectă tocmai energointensivitatea mai ridicată a economiei noastre în comparaţie cu aceea a ţărilor dezvoltate.

Cu cele peste 4 500 kg combustibil convenţional pe locuitor consum de energie primară România este la nivelul multor ţări dezvoltate industrial, dar structura acestui consum arată că în industrie nivelul de consum este mult superior faţă de aceste ţări, iar consumul altor ramuri ale economiei şi mai ales cel al populaţiei este substanţial mai redus decît în acestea. Se justifică, astfel, o dată în plus, analiza energointensivităţii economiei nu numai pe an-

* Dr. ing. Nicolae Liciu—Ministerul Economiei Naţionale

samblu, ci și la nivelul ramurilor, subramurilor, mergînd pînă la diferitele produse și activități.

Desigur, unele preocupări în acest sens au existat și pînă în prezent la o serie de specialiști din țara noastră, inclusiv la autorul acestei lucrări, făcîndu-se și o serie de calcule atît pentru România, cît și comparativ cu alte țări. Considerăm însă că, acum, astfel de analize sînt mult mai necesare și trebuie să se amplifice în mod deosebit pentru a furniza factorilor de decizie elemente fundamentate.

I. Considerații introductive

În esență, energointensivitatea venitului național, ca raport între consumul de energie și venitul național creat, este rezultanta efectului conjugat a cel puțin trei factori : nivelul consumurilor specifice de energie și de materiale, care reflectă gradul de tehnicitate al producției pe care o realizăm, structurile de fabricație și de export, precum și valorificarea, prin prețuri corespunzătoare, la intern și export a producției, ultimii doi indicatori reflectînd în principal economicitatea activității. Desigur, influențează și alți factori : spre exemplu, raportul între costul energiei și al forței de muncă (vezi cazul comparării energointensivității între S.U.A. și Franța sau Coreea de Sud).

Aș exprima opinia că, dacă s-ar efectua o analiză a contribuției fiecăruia dintre cei trei factori menționați asupra diferenței față de țările dezvoltate la indicatorul nivelul total al energointensivității actuale a economiei românești, s-ar constata că, în pofida unor păreri exprimate uneori, factorii reflectînd diferențele în structurile de producție și export și valorificarea producției au o contribuție mai mare decît diferența în nivelul consumurilor specifice energetice și materiale realizate. Desigur, nu trebuie înțeles că nu avem și în acest ultim domeniu multe de făcut pentru perfecționarea tehnologiilor și a organizării fabricației.

Anterior, în țara noastră, definirea ca energointensivă a unei ramuri sau subramuri era făcută, de regulă, în comparație cu media pe economie sau ramură. Considerăm că, în etapa actuală, o atare definire trebuie făcută și în raport cu nivelul energointensivităților realizate de acea ramură sau subramură în economia mondială.

Menționăm că o analiză cu multe aspecte similare se desfășoară și în unele țări apusene (Franța, de exemplu), precum și în majoritatea țărilor membre ale CAER și există o serie de informații privind situația energointensivității din aceste țări în perioadele 1981 — 1985 și 1986 — 1990, care pot fi utilizate și în studiile de acest gen privind țara noastră.

În opinia noastră, analiza eficienței consumului de energie și a dinamicii energointensivității urmează a se efectua, pe baza calculelor corespunzătoare, la trei niveluri :

a) venitul național creat și produsul social total ;

b) principalele ramuri ale producției materiale — industria (inclusiv construcțiile), agricultura, transporturile și telecomunicațiile ;

c) ramurile industriale energointensive (ramurile extractive și producătoare de energie, metalurgia feroasă și neferoasă, industria chimică și petrochimică, producția de materiale de construcție, construcțiile) și ramurile mai puțin energointensive ale industriei (industria ușoară, alimentară, construcția de mașini și altele). Ar urma să se examineze, de asemenea, indicatorii consumurilor specifice de combustibili și energie pentru producerea diferitelor feluri de producție industrială a ramurilor energointensive (energia electrică produsă în termocentrale, fonta, oțelul electric, de convertizor și Martin, laminatele din oțel, amoniacul sintetic, soda caustică, cimentul și altele).

Desigur, o atare analiză trebuie să fie precedată de examinarea principalelor tendințe din energetica mondială, atît în ansamblu, cît și pe diferite grupe de state sau, individual, pe țări.

II. Analiza principalilor indicatori ai dezvoltării economice și ai eficienței consumului de energie la nivelul economiei naționale

Analizînd dinamica energointensivității venitului național și a produsului social se remarcă, desigur, că energointensivitatea venitului național (sau *energointensivitatea totală*) va fi substanțial mai mare decît energointensivitatea produsului social, întrucît include nu numai *energointensivitatea directă* (respectiv consumurile de combustibil și energie pe unitatea de produs social), ci și *energointensivitatea indirectă* (respectiv consumurile de „energie încorporată", adică totalul consumului raportat la cheltuielile materiale) sau *materialo-intensivitatea*.

Dinamica energointensivității directe depinde de realizarea soluțiilor de economisire a energiei, în principal de îmbunătățiri tehnologice, precum și de perfecționarea corespunzătoare a structurii producției materiale. Energointensivitatea indirectă se schimbă ca urmare a realizării diferitelor acțiuni de raționalizare a consumului de produse și servicii materiale energointensive, în general a consumurilor materiale.

În acest mod, nivelul și dinamica energointensivității venitului național depind de schimbarea componentelor sale, adică atît de energointensivitatea directă, cît și de cea indirectă.

Indicele schimbării energointensivității indirecte poate fi determinat pe baza raportului indicilor produsului social și venitului național.

În esență, principalii indicatori ai dezvoltării economice și ai consumului de energie care trebuie luați în considerare la nivelul economiei naționale sînt următorii: totalul și creșterea populației, venitul național creat (în valori absolute și în dinamică), consumul de energie pe locuitor (în valori absolute și în dinamică), venitul național creat pe unitatea de energie consumată în ramurile producției materiale (în valori absolute și în dinamică).

Este interesantă, de asemenea, evoluția ponderii, consumului de combustibil gazos și lichid în totalul consumului de energie primară.

Analiza energointensivității venitului național (VN) și similar a produsului social (PS) trebuie să pornească de la determinarea ritmurilor de creștere a venitului național (respectiv PS), a consumului de energie, energointensivității venitului național (PS). După determinarea coeficientului de elasticitate a consumului de energie la venitul național (PS), ar urma să se calculeze economia relativă de combustibil și energie (în petajoule) la scăderea energointensivității venitului național (PS) și respectiv ponderea acestei economii în asigurarea necesarului de resurse energetice în perioada examinată.

Calculele efectuate de autor pentru analiza comparativă a dinamicii energointensivității venitului național și a produsului social evidențiază că, în numeroase țări, asupra energointensivității directe o influență însemnată exercită energointensivitatea indirectă (prin materialointensivitate), care la rîndul său se reflectă și asupra mărimii economiei relative totale de combustibil și energie la nivelul țării. Astfel, studiul experienței unei serii de țări arată că scăderea energointensivității indirecte permite să se realizeze un efect important suplimentar de economisire a energiei, care se exprimă nemijlocit în economia de materiale energointensive și, desigur, de resurse energetice pentru producerea lor, scăzînd însăși energointensivitatea directă. În acest mod, se poate trage concluzia că asigurarea scăderii continue a energointensivității venitului național necesită eforturi îndreptate atît spre formarea unei structuri a economiei mai puțin consumatoare de energie și de resurse, cît și spre înlăturarea pierderilor de resurse energetice și scăderea energointensivității și materialointensivității proceselor tehnologice și producției.

Rezultatele analizei energointensivității totale (raportate la venitul național) pot fi centralizate astfel încît să se evidențieze:

— dinamicile de scădere a energointensivității totale, din care, pe seama energointensivității directe (raportate la PS) și respectiv energointensivității indirecte (materialointensivitatea);
— economia relativă totală de resurse energetice, din care, pe seama:
  — schimbării energointensivității directe;
  — schimbării energointensivității indirecte.

III. Analiza eficienței consumului de energie în principalele ramuri ale producției materiale (industrie, agricultură, transporturi)

Analiza acestei problematici arată că printre factorii principali care influențează energointensivitatea economiei sînt de menționat progresul tehnico-științific și perfecționarea structurilor de producție în cadrul produsului social. De aceea, este necesar să fie examinat cu precădere gradul de influență (exprimat în procente) al acestor doi factori asupra economiei relative totale de combustibili și energie.

Analiza energointensivității industriei ar urma să pornească de la examinarea ritmurilor de creștere ale consumului de energie din industrie comparativ cu cele ale consumului de energie pe ansamblul economiei naționale și, de asemenea, față de ritmurile de creștere ale producției industriale.

Studiul performanțelor obținute de țările dezvoltate în acest domeniu arată că scăderea energointensivității unei ramuri se asigură, în principal, pe baza perfecționării tehnico-științifice a proceselor productive, incluzînd măsuri privind scăderea consumurilor specifice de purtători de energie pentru realizarea producție și, de asemenea, pe seama acțiunilor cu caracter tehnico-organizatoric, în care sînt incluse și schimbările în structura producției industriale din interiorul subramurilor, creșterea valorificării produselor, precum și evoluția factorului uman (calificare, motivație etc.).

Analiza energointensivității ramurii industrie, pentru o anumită perioadă, poate fi efectuată pe baza următoarelor elemente:

— ponderea industriei (în %) la începutul perioadei examinate în producerea PS și respectiv în consumul de energie;
— schimbarea ponderii ramurii (în puncte) pe o perioadă în cei doi indicatori menționați;
— dinamicile de creștere (scădere) corespunzătoare industriei pentru volumul producției realizate, consumul de energie, energointensivitatea ramurii (în cadrul PS), din care pe seama modificării energointensivității producției ca urmare a schimbărilor din interiorul subramurilor;
— economia relativă de combustibil și energie în ramura industrie (în petajoule), din care pe seama modificării energointensivi-

tăţii producţiei ca urmare a schimbărilor din interiorul subramurilor (în %);
— aportul ramurii industrie în economia de combustibil şi energie din cadrul principalelor ramuri ale producţiei materiale (în %).

Indicatori similari pot fi examinaţi pentru analiza energointensivităţii ramurilor agricultură sau transporturi şi telecomunicaţii.

Examinarea rezultatelor pozitive din ţările dezvoltate arată că nivelul energointensivităţii agriculturii este determinat în cel mai înalt grad de mecanizarea şi electrificarea producţiei agricole, înzestrarea energetică şi electrică a muncii în ramură, felul proprietăţii în agricultură, introducerea unor tehnologii şi sisteme de utilizare a pămîntului mai puţin energofage, modificarea structurii producţiei realizate, respectarea regimului optim de economii de combustibili şi energie şi altele.

În mod similar, studiul experienţei ţărilor avansate prin analiza energointensivităţii ramurii transporturi arată că nivelul acesteia poate fi redus prin perfecţionarea schemelor tehnologice de exploatare şi a regimurilor de lucru ale mijloacelor de transport, înnoirea şi modernizarea parcului, raţionalizarea structurii traficului şi a fluxurilor de mărfuri, reducerea pierderilor directe de resurse energetice etc.

IV. Analiza eficienţei consumului de energie în ramurile industriale energointensive şi mai puţin energointensive

Pentru ordonarea ramurilor industriale şi desemnarea celor reprezentative pentru analiză, se pot utiliza indicatorii care caracterizează ponderea acestor ramuri în consumul de energie şi în valoarea producţiei marfă a industriei (VPM), nivelul energointensivităţii fiecărei ramuri şi influenţa acesteia asupra energointensivităţii VPM a industriei.

Din studiul experienţei altor ţări, precum şi din calculele preliminare pentru România, apreciem că drept obiectiv al analizei ar putea fi considerate următoarele ramuri ale industriei :

— ramuri energointensive : electroenergetica şi asigurarea centralizată a energiei termice, împreună cu industria combustibilului; metalurgia feroasă şi neferoasă; industria chimică şi petrochimică, construcţii şi producţia de materiale de construcţii; industria de prelucrare a lemnului, celuloză şi hîrtie;
— ramuri slab energointensive, printre care construcţia de maşini, industria uşoară, industria alimentară şi altele.

Analiza urmează să examineze ponderea ramurilor industriale energointensive în PS, pornind de la ponderea lor în consumul de energie şi respectiv în realizarea producţiei din industrie. Pe această bază se pot calcula evoluţiile pentru perioada examinată ale consumului de energie, realizării producţiei şi energointensivităţii acesteia pe total industrie, pe ramuri energointensive şi respectiv slab energointensive.

Ar urma să se examineze în continuare ponderea ramurilor energointensive în scăderea energointensivităţii şi volumul total al economiei (depăşirii) relative a consumului de energie în VPM (în %) a industriei.

Intrînd în analiza fiecăreia din ramurile definite anterior, se poate determina pentru fiecare ponderea sa în consumul de energie corespunzător VPM a industriei la sfîrşitul perioadei examinate, dinamica de schimbare a energointensivităţii ramurii cu considerarea schimbărilor structurale în cadrul VPM şi dinamica de schimbare a energointensivităţii pe seama modificărilor consumurilor specifice de energie şi îmbunătăţirilor structurale în interiorul ramurii.

Analizele efectuate (inclusiv de autorul acestei lucrări) pentru alte ţări arată că partea principală a economiei la nivelul ramurii s-a realizat pe seama scăderii energointensivităţii producţiei şi schimbărilor structurale corespunzătoare din interiorul ramurii : în primul rînd, aceasta se referă la ramurile cu o componentă importantă ştiinţifică (electronica, automatica, construcţia de maşini, industria chimică şi petrochimică ş.a.); în acelaşi timp, asupra mărimii economiei la nivelul ramurii în cadrul VPM industriale, o influenţă însemnată (într-o serie de cazuri — determinantă) are factorul de structură.

În continuare, calculele urmează să detalieze în cadrul fiecărei ramuri elementele determinante pentru evoluţia consumurilor specifice de energie. Spre exemplu, în cazul consumului specific de combustibil la producerea energiei electrice pe cărbuni, sînt avute în vedere calitatea cărbunilor utilizaţi, înnoirea şi modernizarea instalaţiilor de cazane, perfecţionarea proceselor tehnologice de ardere a combustibililor etc.

În siderurgie, ar urma să se examineze evoluţia ponderii fontei în totalul producţiei de metal, dinamica necesarului de cocs, structura pe procedee a elaborării oţelului şi altele.

Perfecţionarea structurii producţiei în siderurgie şi metalurgia neferoasă trebuie să aibă în vedere creşterea ponderii producţiei finale a ramurii şi, în special, a unor laminate de calitate, precum şi eficienţa acestor produse în contextul tranziţiei la economia de piaţă.

În industria chimică şi petrochimică, analiza efectuată pentru evoluţia din ţările membre CAER evidenţiază că majoritatea acestora acordă atenţie dinamicilor înalte de creştere a producţiei de mase plastice şi răşini sintetice, care depăşesc, de regulă, dinamicile producţiei

ramurii în ansamblu. O asemenea remarcă urmează a fi utilizată și în analiza ce ar fi efectuată pentru țara noastră. În mod similar se pot examina evoluțiile din celelalte ramuri industriale menționate, în contextul noii situații a economiei românești și a deschiderii ei pe plan european și mondial.

O modalitate suplimentară de analiză o constituie, desigur, compararea indicatorilor producției diferitelor tipuri de produse industriale energointensive pe locuitor în România și, în diferite țări dezvoltate și care arată diferențe, deseori importante, între nivelurile realizate.

În fine, este necesar să se analizeze în continuare și dinamica producției totale și pe locuitor și a consumurilor specifice de energie la fabricația unor produse energointensive, cum ar fi : fonta, oțelul convertizor, Martin și electric, laminatele feroase, amoniacul sintetic, soda caustică electrolitică, cimentul, energia electrică produsă în termocentrale etc., atît pentru țara noastră, cît și față de alte țări.

Desigur, în cele de mai sus, au fost avute în vedere consumurile energetice directe, dar o analiză mai profundă ar trebui să țină seama de consumurile energetice cumulate pe produs.

Concluzii

În noile condiții de după revoluția din România, analiza energointensivității economiei naționale la toate nivelurile menționate este urgent necesară pentru redresarea economică a țării și dezvoltarea sa economico-socială în perspectivă.

Considerăm că o analiză a energointensivității economiei naționale, a ramurilor și sectoarelor sale, poate și trebuie să fie făcută, cu sprijinul unor cercetători și specialiști în probleme de politică energetică și ar dura 1—2 luni, în vederea ridicării eficienței energetice în economia românească și asigurării normale cu energie a programului de dezvoltare propus.

(Primit la 14 aprilie 1990, acceptat la 25 aprilie 1990)

Optimizarea consumurilor de energie în întreprinderi miniere

Ing. TITUS DORU HAŢIEGAN*

Descriptori: consum specific de energie, optimizare, minerit

În lucrare se descriu consumul de energie şi producţia unei întreprinderi miniere, ca funcţii liniare de n variabile, fiecare variabilă fiind ataşată unui factor de influenţă şi definită pe un domeniu.

Folosind expresiile matematice ale celor două mărimi, se prezintă un exemplu de optimizare a consumului de energie şi a producţiei unei unităţi miniere de producere a nisipului, prin metoda programării liniare.

În continuare se determină expresia analitică a consumului specific de energie şi se demonstrează că această expresie nu are puncte de extrem. Se demonstrează în continuare că problemele de minimizare a consumului specific de energie în condiţiile menţinerii consumului de energie sau producţiei la valorile nominale sînt identice cu problemele de maximizare a producţiei, respectiv de minimizare a consumului de energie.

În continuare se prezintă un exemplu de minimizare a consumului specific de energie, în absenţa restricţiilor de mai sus. Problema tratată fiind o problemă de optimizare neliniară, rezolvarea ei se face prin metoda planelor secante.

În concluzie se prezintă limitările modelului matematic folosit, faptul că este susceptibil de perfecţionări, printr-o analiză mai aprofundată a factorilor de influenţă ai consumului de energie şi ai producţiei.

The paper describes the energy consumption and production of a mining enterprise as linear functions of n variables, each variable being attached to an influencing factor and defined on a range.

Using the mathematical expressions of the two values, an example of the energy consumption and production optimization of a sand processing mining enterprise, by linear programming, is shown.

Further on, the analytical expression of the specific energy consumption is determined and it is proven that this expression does not have extreme points. Further on, it is proven that the minimizing problems of the specific energy consumption under the conditions of maintaining the energy consumption or production at normal values are identical with the maximizing problems of the production and with minimizing of the energy consumption, respectively.

Further on, an example of minimizing the specific energy consumption in the absence of the above mentioned constraints is shown.

The problem described being one of a non-linear optimization, its solving is done by the secant plane method.

In conclusion, the limits of the mathematical model used are shown, the fact that it is liable to improvements by a more profound analysis of the influencing factors of energy consumption and production.

1. Consum de energie. Producţie

După cum s-a arătat în [1], consumul de energie al unei instalaţii industriale se poate exprima în felul următor:

$$W = c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \qquad (1)$$

$$x_1 \in [a_i,\ b_i],\ i = \overline{1, n}$$

şi unde variabilele x_i reprezintă factori de influenţă asupra consumului de energie, definite pe intervalele $[a_i,\ b_i]$.

S-a prezentat, de asemenea, modul de calcul al coeficienţilor c_i şi c_0:

$$c_i = \frac{W_n - W_{0i}}{x_{in} - a_i},\quad i = \overline{1, n}, \qquad (2)$$

$$c_0 = \sum_{i=1}^{n} \frac{-W_n[a_i + (n-1)x_{in}] + nW_{0i}\,x_{in}}{x_{in} - a_i}, \qquad (3)$$

unde: W_n este consumul nominal de energie;

$W_{0i} = W(a_i)$ — consumul de energie la mers în gol, în raport cu variabila x_i, $(x_i = a_i)$;

x_{in} — valoarea nominală a variabilei x_i.

În mod analog, producţia realizată într-o instalaţie industrială se poate exprima în funcţie de diferiţi factori de influenţă, în felul următor:

$$P = d_0 + \sum_{j=1}^{m} d_j x_j, \qquad (4)$$

$$x_i \in [a_j,\ b_j],\ j = \overline{1, m},$$

unde variabilele x_j reprezintă factorii de influenţă asupra producţiei, definite pe intervalele $[a_j, b_j]$.

Coeficienţii d_j şi d_0 se determină cu relaţiile:

$$d_j = \frac{P_m - P_{0j}}{x_{jn} - a_j},\quad j = \overline{1, m}, \qquad (5)$$

$$d_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \frac{-P_n[a_j + (m-1)x_{jn}] + m\,P_{0j}\,x_{jn}}{x_{jn} - a_j}, \qquad (6)$$

* Ing. Titus Doru Haţiegan — Institutul de Cercetări şi Proiectări Miniere pentru Substanţe Nemetalifere, Cluj-Napoca.

unde :

P_n este producţia nominală ;

$P_{0j} = P(a_j)$ — producţia corespunzătoare valorii $x_j = a_j$, celelalte variabile fiind fixate la valorile nominale ;

x_{jn} — valoarea nominală a variabilei x_j.

Problemele importante pentru o instalaţie industrială sînt cele privind minimizarea consumului de energie, în condiţiile unei producţii fixate, sau maximizarea producţiei, în condiţiile limitării consumului de energie. Din punct de vedere matematic, cele două probleme se rezolvă prin metoda programării liniare.

Problema minimizării consumului de energie, cu menţinerea unui nivel dat al producţiei, transcrisă în limbaj matematic, este :

$$W = c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \to \min., \qquad (7)$$

$$d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i = P_n,$$

$$x_i \in [a_i, b_i], \quad i = \overline{1, n}.$$

Problema maximizării producţiei ,cu limitarea consumului de energie, scrisă sub formă matematică, este :

$$P = d_0 + \sum_{j=1}^{n} d_j x_j \to \max., \qquad (8)$$

$$c_0 + \sum_{j=1}^{n} c_j x_j = W_u, \quad x_j \in [a_j, b_j], \quad i = \overline{1, n}.$$

Exemplificarea celor prezentate mai sus, se face prin rezolvarea următoarei probleme :

Exemplul 1. Se consideră o unitate minieră de extracţie şi preparare a nisipului, avînd consumul nominal de energie W_n = 77800000 kWh/an, producţia nominală fiind P_n = = 2000000t/an.

a. În tabelul 1 sînt prezentaţi factorii de influenţă şi dependenţa consumului de energie în raport cu fiecare factor. Se cere determinarea expresiei matematice, a consumului de energie în funcţie de ansamblul factorilor de influenţă şi minimizarea consumului de energie, cu menţinerea nivelului producţiei.

b. În tabelul 2 sînt prezentaţi factorii de influenţă şi dependenţa producţiei în raport cu fiecare factor. Se cere determinarea expresiei matematice a producţiei în funcţie de ansamblul factorilor de influenţă şi maximizarea producţei, cu limitarea consumului de energie.

Rezolvare

Calculăm consumurile de energie corespunzătoare mersului în gol, în conformitate cu relaţia :

$$W_{0i} = W(a_i), \quad i = \overline{1,7}$$

Tabelul 1

Nr. crt.	Factor de influenţă	Valoare nominală x_{in}	Domeniul de variaţie (a_i, b_i)	Consum de energie $W(x_i) = c_i x_i + b_i$ (kWh)
0	1	2	3	4
1	Gradul de încărcare a capacităţii, x_1	0,8	[0 ; 1]	$W(x_1) = 48500000\,x_1 + 39000000$
2	Siguranţa în exploatare, x_2	0,9	[0,8 ; 1]	$W(x_2) = -77800000\,x_2 + 14782\,0000$
3	Măsuri de protecţie a mediului şi a personalului, x_3	1,08	[1 ; 1,5]	$W(x_3) = 75000000\,x_3 - 3200000$
4	Grosimea stratului de descopertă în carieră, x_4	40m	[0 ; 80] m	$W(x_4) = 271500\,x_4 + 66\,94\,0000$
5	Lungimea traseelor de transport, x_5	1,8 km	[0 ; 10] km	$W(x_5) = 410000\,x_5 + 77060000$
6	Granulaţia minereului, x_6	0,35mm	[0 ; 0,7]mm	$W(x_6) = 77800000$
7	Conţinut de SiO_2 în minereu, x_7	0,88	[0 ; 1]	$W(x_7) = 77800000$

Tabelul 2

Nr. crt.	Factor de influență	Valoare nominală x_{in}	Domeniu de variație (a_i, b_i)	Consum de energie $W(x_i) = c_i x_i + k_i$ (kWh)
0	1	2	3	4
1	Grad de încărcare a capacității, x_1	0,8	[0 ; 1]	$W(x_1) = 48500000\,x_1 + 39000000$
2	Siguranța în exploatare, x_2	0,9	[0,8 ; 1]	$W(x_2) = -77800000\,x_2 + 147820000$
3	Măsuri de protecție a mediului și a personalului, x_3	1,08	[1 ; 1,5]	$W(x_3) = 75000000\,x_3 - 3200000$
4	Grosimea stratului de descopertă în carieră, x_4	40 m	[0 ; 80] m	$W(x_4) = 271500\,x_4 + 6694000$
5	Lungimea traseelor de transport, x_5	1,8 km	[0 ; 10] km	$W(x_5) = 410000\,x_5 + 77060000$
6	Granulația minereului, x_6	0,35 mm	[0 ; 0,7] mm	$W(x_6) = 77800000$
7	Conținut de SiO_2 în minereu, x_7	0,86	[0 ; 1]	$W(x_7) = 77800000$

$a_1 = 0$; $W_{01} = 39000000$

$a_2 = 0{,}8$; $W_{02} = 85580000$

$a_3 = 1$; $W_{03} = 71800000$

$a_4 = 0$; $W_{04} = 66940000$

$a_5 = 0$; $W_{05} = 77060000$

$a_6 = 0$; $W_{06} = 77800000$

$a_7 = 0$; $W_{07} = 77800000$

Coeficienții c_i, $i = \overline{1,7}$ sînt cunoscuți; c_i sînt coeficienții variabilelor x_i, din ecuațiile consumului de energie, prezentate în tabelul 1.

$c_1 = 48500000$

$c_2 = -77800000$

$c_3 = 75000000$

$c_4 = 271500$

$c_5 = 410000$

$c_6 = 0$

$c_7 = 0$

Coeficientul c_0 se calculează cu relația (3):

$$c_0 = \frac{1}{7}\sum_{i=1}^{7}\frac{-77800000(a_i + 6x_{in}) + 7W_{0i}\,x_{in}}{x_{in} - a_i} = 16420000.$$

Cu aceasta, funcția W a consumului de energie este complet determinată.

$$W = 48500000\,x_1 - 77800000\,x_2 + 75000000\,x_3 + 271500\,x_4 + 410000\,x_5 + 16420000$$

Calculăm producțiile corespunzătoare valorilor $x_j = a_j$ în conformitate cu relația:

$$P_{0j} = P(aj), \quad j = \overline{1,\ n}$$

$a_1 = 0$; $P_{01} = 0$

$a_2 = 0,8$; $P_{02} = 1800000$

$a_3 = 1$; $P_{03} = 2000000$

$a_4 = 0$; $P_{04} = 2000000$

$a_5 = 0$; $P_{05} = 2000000$

$a_6 = 0$; $P_{06} = 0$; $a_6' = 0$; $P_{06}' = 4000000$

$a_7 = 0$; $P_{07} = 0$

Coeficienții d_j, $j = \overline{1,7}$ sînt chiar coeficienții variabilelor x_j din ecuațiile producției prezentate în tabelul 2.

$d_1 = 2500000$

$d_2 = 2000000$

$d_3 = 0$

$d_4 = 0$

$d_5 = 0$

$$d_6 = \begin{cases} 5714285 \text{ pentru } 0 < x_6 \leq 0{,}35 \\ -5714285 \text{ pentru } 0{,}35 < x_6 \leq 0{,}7 \end{cases}$$

$d_7 = 2325580$

Coeficientul d_0 se calculează cu relaţia (6):

$$d_0 = \frac{1}{7}\sum_{j=1}^{7}\frac{-2000000(a_j + 6x_{jn}) + 7P_{0j}\,x_{jn}}{x_{jn} - a_j} =$$

$$= \begin{cases} -5800000 \\ 0 < x_6 \leqslant 0{,}35 \\ -1800000; \\ 0{,}35 < x_6 \leqslant 0{,}7 \end{cases}$$

Funcţia P, a producţiei, este următoarea:

$$P = \begin{cases} 2500000x_1 + 2000000x_2 + 5714285x_6 + 2325580x_7 - \\ \quad - 5800000;\ 0 < x_6 \leqslant 0{,}35 \\ 2500000x_1 + 2000000x_2 + 5714285x_6 + 2325580x_7 - \\ \quad - 1800000;\ 0{,}35 < x_6 \leqslant 0{,}7 \end{cases}$$

Dintre cele şapte variabile de care depind consumul de energie şi producţia, numai primele trei sînt dependente de acţiunea umană, celelalte exprimînd influenţa factorilor naturali. Optimizarea se poate face numai în raport cu primele trei variabile, celelalte fiind înlocuite cu valorile lor nominale. În aceste condiţii expresia W a consumului de energie devine:

$$W = 48500000x_1 - 77800000x_2 + 75000000x_3 + 28018000$$

prin înlocuirea celorlalte variabile cu valorile lor nominale. În mod analog, expresia producţiei P devine:

$$P = 2500000x_1 + 2000000x_2 - 1800000.$$

Problema minimizării consumului de energie, cu menţinerea producţiei la valoarea nominală este:

$$48500000x_1 - 77800000x_2 + 75000000x_3 \to \min$$

$$x_1 \leqslant 1$$

$$x_2 \leqslant 1$$

$$x_3 \leqslant 1{,}5$$

$$2500000x_1 + 2000000x_2 = 3800000$$

$$x_2 \geqslant 0{,}8$$

$$x_3 \geqslant 1$$

Rezolvarea problemei se face prin metoda SIMPLEX. Soluţia obţinută este următoarea:

$$x_1 = 0{,}72$$

$$x_2 = 1$$

$$x_3 = 1$$

$$W_{opt} = 601380000 \text{ kWh/an}$$

Rezultă deci că reducînd gradul de încărcare al instalaţie de la 0,8 la 0,72, mărind siguranţa în exploatare prin creşterea nivelului întreţinerii tehnice de la 0,9 la 1 şi reducînd măsurile de protecţie a mediului de la 1,08 la 1, se obţine o economie anuală de energie electrică de:

$$\Delta W = W_n - W = 77800000 - 60138000 = 17662000 \text{ kWh/an},$$

realizîndu-se producţia planificată de 2000000 t/an.

Problema de maximizare a producţiei, cu menţinerea limitei superioare a consumului de energie, devine:

$$2500000x_1 + 2000000x_2 \to \max.$$

$$x_1 \leqslant 1$$

$$x_2 \leqslant 1$$

$$x_3 \leqslant 1{,}5$$

$$48500000x_1 - 77800000x_2 + 7500000x_3 = 49782000$$

$$x_2 \geqslant 0{,}8$$

$$x_3 \geqslant 1$$

Rezolvarea problemei se face de asemenea prin metoda SIMPLEX, obţinîndu-se următoarea soluţie:

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1$$

$$x_3 = 1{,}05443$$

$$P_{opt} = 2700000 \text{ t/an}$$

Rezultă că mărind gradul de încărcare a capacităţii de la 0,8 la 1, mărind siguranţa în exploatare, prin creşterea nivelului întreţinerii tehnice, de la 0,9 la 1 şi reducînd măsurile de protecţie a mediului de la 1,08 la 1,05443, se obţine un spor de producţie de:

$$\Delta P = P - P_n = 2700000 - 2000000 = 700000 \text{ t/an}$$

în condiţiile aceluiaşi consum de energie electrică de 77800000 kWh/an.

2. Consum specific de energie

Consumul specific de energie, sau consumul de energie pe unitatea de produs, este raportul:

$$w = \frac{W}{P}, \tag{9}$$

în care dacă înlocuim W şi P cu expresiile lor, obţinem:

$$w = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i\,x_i}{d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i\,x_i}, \tag{10}$$

$$x_i \in [a_i,\ b_i],\quad i = \overline{1, n}.$$

Practic, prezintă interes analiza consumului specific de energie în raport cu una din variabile; fie x_i aceasta:

$$w(x_i) = \frac{c_i x_i + k_i}{d_i\,x_i + l_i}. \tag{11}$$

Pentru a determina eventualele puncte staţionare, se calculează derivata :

$$\frac{dw(x_i)}{dx_i} = \frac{c_i l_i - d_i k_i}{(d_i x_i + l_i)^2}. \quad (12)$$

Se observă că această derivată nu se anulează pentru nici o valoare a variabilei x_i, deci funcţia $w(x_i)$ nu are puncte staţionare. Analizînd semnul derivatei, observăm :

$-\frac{dw_{(xi)}}{dx_i} > 0$ pentru $c_i l_i > d_i k_i$. În acest caz onsumul specific de energie creşte cu creşterea variabilei x_i;

$-\frac{dw_{(xi)}}{dx_i} = 0$ pentru $c_i l_i = d_i k_i$. În acest caz consumul specific de energie este constant în raport cu variabila x_i ;

$-\frac{dw_{(xi)}}{dx_i} < 0$ pentru $c_i l_i < d_i k_i$. În acest caz consumul specific de energie scade cu creşterea variabilei x_i.

Una din problemele de bază care se pune într-o instalaţie industrială este cea privind minimizarea consumului specific de energie. Această problemă se poate pune în două moduri : minimizarea consumului specific de energie, cu menţinerea constantă a producţiei, sau minimizarea consumului specific de energie cu limitarea la o valoare prescrisă a consumului de energie.

În primul caz cînd se cere minimizarea consumului specific de energie, cu menţinerea nivelului producţiei la o valoare stabilită, transcrierea matematică a problemei este următoarea :

$$w = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i}{d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i} \to \min. \quad (13)$$

$$d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i = P_n$$

$$x_i \in [a_i, b_i], \; i = \overline{1, n}$$

Expresia consumului specific de energie se poate simplifica :

$$w = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i}{d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i} = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i}{P_n} =$$

$$= c_0' + \sum_{i=1}^{n} c_i' x_i, \quad (14)$$

unde :

$$c_0' = \frac{c_0}{P_n}, \; c_i' = \frac{c_i}{P_n}, \; i = \overline{1, n} \quad (15)$$

şi relaţia de minimizare devine :

$$c_0' + \sum_{i=1}^{n} c_i' x_i \to \min., \quad (16)$$

$$d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i = P_n,$$

$$x_i \in [a_i, b_i], \; i = \overline{1, n}.$$

Relaţia (16) este similară cu relaţia (7), prin care se urmărea minimizarea consumului de energie, cu menţinerea unui nivel dat al producţiei.

În al doilea caz, cînd se cere minimizarea consumului specific de energie cu limitarea la o valoare prescrisă a consumului de energie, transcrierea matematică a problemei este următoarea :

$$w = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i}{d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i} \to \min. \quad (17)$$

$$c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i = W_n$$

$$x_i \in [a_i, \; b_i], \; i = \overline{1, n}$$

Expresia consumului specific de energie se poate simplifica :

$$w = \frac{c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i}{d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i} = \frac{W_n}{d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i} =$$

$$= \frac{1}{d_0' + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i}, \quad (18)$$

unde :

$$d_0' = \frac{d_0}{W_n}, \; d_i' = \frac{d_i}{W_n}, \; i = \overline{1, n}. \quad (19)$$

Observăm că :

$$\min(w) = \max\left(\frac{1}{w}\right)$$

problema de minimizare se transformă:

$$d_0' + \sum_{i=1}^{n} d_i' x_i \to \max., \qquad (20)$$

$$c_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i = Wn,$$

$$x_i \in [a_i, b_i], \; i = \overline{1, n}.$$

Problema (20) este similară cu problema (8), prin care se urmărea maximizarea producției, cu limitarea consumului de energie.

În numeroase cazuri se poate pune problema minimizării consumului specific de energie, fără a se impune aprioric nivelul producției sau al consumului de energie. În acest caz, problema minimizării consumului specific de energie devine:

$$w = \frac{i_0 + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i}{d_0 + \sum_{i=1}^{n} d_i x_i} \to \min. \qquad (21)$$

$$x_i \in [a_i, b_i], \quad i = \overline{1, n}$$

Relația (21) este o problemă de programare neliniară, care poate fi rezolvată prin diverse metode iterative. Neliniaritatea problemei provine din neliniaritatea funcției w, a consumului specific de energie.

Pentru exemplificare, considerăm o problemă în care consumul specific de energie w este cel corespunzător exemplului 1.

Exemplul 2. Să se minimizeze consumul specific de energie al unei instalații industriale de preparare a nisipului, expresia acestuia fiind:

$$w = \frac{485x_1 - 778x_2 + 750x_3 + 280{,}18}{25x_1 + 20x_2 - 18},$$

unde x_1 reprezintă gradul de încărcare a capacității, x_2 reprezintă siguranța în funcționare și x_3 reprezintă măsurile de protecție a mediului. Domeniile de definiție ale variabilelor sînt:

$$x_1 \in [\ 0\ ;\ 1]$$
$$x_2 \in [0{,}8\ ;\ 1]$$
$$x_3 \in [\ 1\ ;\ 1{,}5]$$

Rezolvare

Transcrierea matematică a problemei este următoarea:

$$\frac{485x_1 - 778x_2 + 750x_3 + 280{,}18}{25x_1 + 20x_2 - 18} \to \min$$

$$x_1 \leqslant 1$$
$$x_2 \leqslant 1$$
$$x_3 \leqslant 1{,}5$$
$$x_2 \geqslant 0{,}8$$
$$x_3 \geqslant 1$$

Pentru rezolvarea problemei se utilizează *metoda planelor secante*. Obținem soluția:

$$x_1 = 1$$
$$x_2 = 1$$
$$x_3 = 1$$
$$w = 27{,}3 \text{ kWh/t}$$

În vederea efecturării unor comparații, calculăm consumurile specifice de energie corespunzătoare celor două probleme de optimizare prezentate în exemplul 1:

$$w_1 = \frac{W_{opt}}{P_n} = \frac{60\,138\,000}{2\,000\,000} = 30{,}069 \text{ kWh/t},$$

$$w_2 = \frac{W_n}{P_{opt}} = \frac{77\,800\,000}{2\,700\,000} = 28{,}815 \text{ kWh/t}$$

și consumul specific nominal de energie:

$$w_n = \frac{W_n}{P_n} = \frac{77\,800\,000}{2\,000\,000} = 38{,}9 \text{ kWh/t}.$$

Observăm că în cazul problemei prezentate în exemplul 2 se obține cel mai mic consum specific de energie, față de celelalte cazuri, prin creșterea gradului de încărcare de la 0,8 la 1, prin creșterea siguranței în exploatare de la 0,9 la 1, prin reducerea măsurilor de protecție a mediului de la 1,08 la 1.

Concluzii

În urma analizei efectuate asupra factorilor care influențează consumurile de energie electrică, au rezultat expresiile matematice ale consumului de energie, producției și consumului specific de energie în funcție de acești factori. Funcțiile astfel obținute permit o analiză tehnico-economică, calitativă și cantitativă, a procesului de producție dintr-o unitate oarecare din punct de vedere energetic.

O analiză detaliată a unei tehnologii poate pune în evidență și alți factori de influență asupra consumurilor energetice, diferiți de cei prezentați, ceea ce ar perfecționa optimizarea funcționării instalației.

Bineînțeles, dependențele liniare presupuse între consumul de energie, producție și factorii de influență, se pot dovedi în unele cazuri a fi nereale, ceea ce ar impune înlocuirea lor cu eexpresii matematice mai complicate. Aceasta nu ar însemna însă decît o completare a modelului matematic stabilit, pentru o cît mai bună concordanță cu fenomenul fizic, ceea ce constituie un deziderat ce merită a fi urmărit.

Bibliografie

[1] Hațiegan, T. D. *Metodologie de întocmire a studiilor de raționalizare a consumului de energie electrică.* Comunicare la simpozionul „Tehnici și tehnologii noi în industria minieră", Institutul de Mine Petroșani, 10—11 dec. 1976.

[2] Hațiegan, T. D. *Un model matematic pentru optimizarea consumurilor specifice de energie.* În: Energetica, vol. 37, nr. 2, 1989, p. 56—60.

[3] Smirnov, V. *Cours de mathématiques supérieurs* Editions MIR, Moscou, 1976.

(Primit la 20 martie 1990, acceptat la 24 martie 1990)

Analiza comportării consumatorilor de tip „extracție petrol" în condiții de alimentare cu tensiune variabilă

6/ETE

Conf. ing. ADRIAN BUTA, conf. dr. ing. CORNELIA IVAȘCU, ing. LIVIU MILEA *

Descriptori: consumatori cu energie electrică, tensiune variabilă, extracție petrol

Lucrarea se referă la analiza comportării consumatorilor caracteristici zonelor de extracție petrol în condiții de alimentare cu tensiune variabilă. Pe baza măsurătorilor efectuate în stații de transformare de IT/MT din SEE de la care sînt alimentați acești consumatori se prezintă caracteristicile statice de putere activă, respectiv reactivă, funcție de tensiune, dependența curentului absorbit, cît și a factorului de putere funcție de variația de tensiune. Se analizează apoi gradul de deformare introdus de acest tip de consumatori.

The paper deals with the analysis of the behaviour of the users specific to the oil lifting fields under the conditions of variable voltage supply. The measurements carried out in the high voltage/medium voltage power stations of the electric power system that these users are supplied fromm ave revealed the static characteristics of active power, respectively reactive power in terms of voltage, the dependance of the input current and of the power factor in terms of voltage variation. The degree of distorsion introduced by this type of users is also analysed.

Consumatorii electrici răspund și participă la orice modificare a regimului sistemului electroenergetic, influențînd comportarea în ansamblu a acestuia. Participarea consumatorilor la modificările mărimilor electrice de sistem este descrisă de caracteristicile acestora.

În lucrare se propune analiza comportării consumatorilor caracteristici zonelor de extracție petrol, în condiții de alimentare cu tensiune variabilă. Pe baza măsurătorilor efectuate în stații de transformare IT/MT aparținătoare IRET Timișoara, stații din care sînt alimentați astfel de consumatori, se prezintă caracteristicile statice de putere activă și reactivă funcție de tensiune, dependența curentului absorbit, cît și a factorului de putere funcție de variația de tensiune. Se analizează apoi gradul de deformare introdus de acest tip de consumatori.

1. Considerații teoretice

Una din problemele fundamentale în studiul rețelelor electrice și al elementelor lor componente este aceea a regimului de funcționare. Proiectarea și exploatarea rețelelor electrice presupune cunoașterea condițiilor în care funcționează linia sau stația electrică.

Prin regimul de funcționare al unei rețele (sau al unui element al acesteia), se înțelege starea ei la un moment dat, caracterizată prin valorile unor mărimi fizice (tensiune, curent, putere activă și reactivă, decalajul tensiunilor, frecvență etc.) care caracterizează starea corespunzătoare, regimul rețelei la momentul dat. Aceste mărimi sînt de fapt parametri ai energiei electrice transportate sau livrate consumatorilor. Ei pot fi cantitativi: valorile puterilor, curenților etc. și calitativi: tensiunea de alimentare, frecvența, gradul de deformare al undei de tensiune, gradul de nesimetrie al sistemului trifazat de tensiuni, continuitatea în alimentare.

Valoarea tensiunii depinde în primul rînd de circulația puterilor reactive, dar în rețelele de distribuție în care puterea reactivă este compensată rolul determinant îl are puterea activă, menținerea tensiunii între limite admise făcînd obiectul reglajului de tensiune.

Funcționarea optimă a consumatorilor implică alimentarea cu tensiune de valoare nominală, la frecvența nominală. În condiții de funcționare la nivel de frecvență sub cel nominal se impune stabilirea nivelului optim al valorii tensiunii de alimentare. Răspunsul la problema de mai sus este obținut din caracteristicile statice ale consumatorului $P = f(U)$ și $Q = f(U)$.

Este desigur evidentă utilitatea cunoașterii caracteristicilor statice ale consumatorilor individuali sau ale celui complex echivalent racordat la barele de IT sau MT ale unei stații de transformare.

În ceea ce privește deformarea undei de tensiune, nu este practic cauzată de sursele de energie, dar rețeaua poate participa la deformare prin bateriile de condensatoare montate pentru compensarea puterii reactive, prin bobinele de reactanță și/sau transformatoarele saturate. Adevăratele surse de deformare a undei de curent și tensiune sînt consumatorii, de fapt unii dintre ei (cuptoare cu arc electric, sudura electrică, instalații de redresare etc.).

* Conf. dr. ing Adrian Buta, conf. dr. ing. Cornelia Ivașcu — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timișoara, Facultatea de Electrotehnică; ing. Liviu Milea — I.R.E.T. Timișoara

Prezența regimului deformant, se știe, înrăutățește randamentul instalațiilor ce alcătuiesc rețeaua electrică și ca urmare el trebuie identificat și limitat.

2. Determinarea experimentală a caracteristicilor statice putere funcție de tensiune pentru consumatorii de tip „extracție petrol"

În vederea optimizării regimurilor de funcționare în stațiile de IT/MT, în condițiile actuale de funcționare cu tensiunea și frecvența variabile, s-au efectuat măsurători ce au permis trasarea caracteristicilor statice de putere activă și reactivă funcție de tensiune, precum și dependența curentului absorbit și a factorului de putere de variația tensiunii în limitele admisibile, variație obținută prin modificarea sub sarcină a ploturilor transformatoarelor din stațiile de transformare.

Măsurătorile au fost efectuate în două etape : 27 iulie 1989 și 31 iulie 1989, considerîndu-se consumatori de tip „extracție petrol". Măsurarea mărimilor sus-menționate s-a efectuat cu ajutorul instrumentelor cu citire directă (voltmetre, ampermetre, wattmetre, cosfimetre) montate în secundarul transformatoarelor de pe racordurile spre consumatorii considerați.

Din stația de transformare de 110/20 kV Satchinez se vor prezenta rezultatele măsurătorilor efectuate :

— pe plecarea Orțișoara — petrol ;
— pe plecarea Cărpiniș — petrol ;
— pe plecarea Variaș — petrol ;
— pe barele de 20 kV.

Consumatorul complex de pe barele de 20 kV include pe lîngă consumul celor trei plecări cu specific „extracție petrol" și consum casnic, respectiv agrar.

Caracteristicile trasate pe baza măsurătorilor efectuate sînt prezentate în figurile 1 și 2 pentru plecarea Orțișoara — petrol, figurile 3 și 4 pentru plecarea Cărpiniș — petrol, figurile 5 și 6 pentru plecarea Variaș — petrol și respectiv figurile 7 și 8 pentru transformator (la nivelul de 20 kV).

La analiza acestor caracteristici se pot face următoarele observații :

Plecarea Orțișoara — petrol prezintă o variație mare a puterilor reactivă și activă în gama ploturilor 5 — 18 (fig. 2). Astfel, la modificarea tensiunii de la 18,19 kV la 22,43 kV, puterea activă se modifică de la 286 kvar la 384 kW, puterea reactivă de la 247 kW la 976 kvar, curentul de la 32,3 la 81 A, iar factorul de putere scade într-o măsură foarte mare, de la 0,71 la 0,27. Procentual, raportate la valoarea corespunzătoare tensiunii nominale, 20 kV (260 kW, 425 kvar, 45 A și cos $\varphi = 0{,}5$), variațiile sînt următoarele : pentru P : 57%, pentru Q : 171%, pentru I : 107%, iar pentru

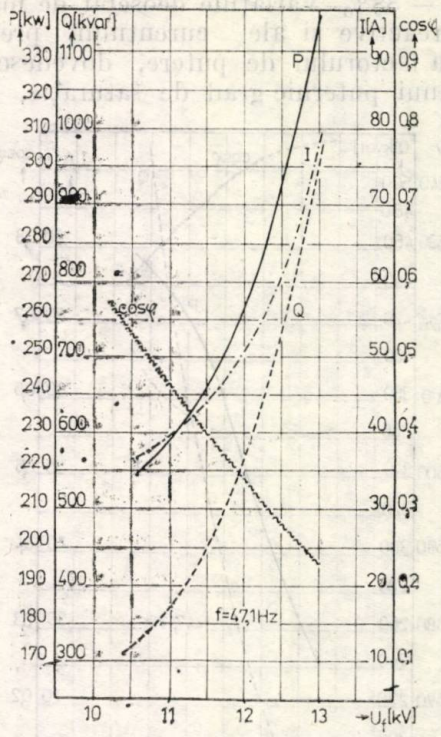


Fig. 1. Caracteristici statice cu tensiunea P = f(U), Q = = f(U), I = f(U), cos φ = f(U) pentru plecarea Orțișoara — — petrol, ridicate în ziua de 27 iulie 1989.

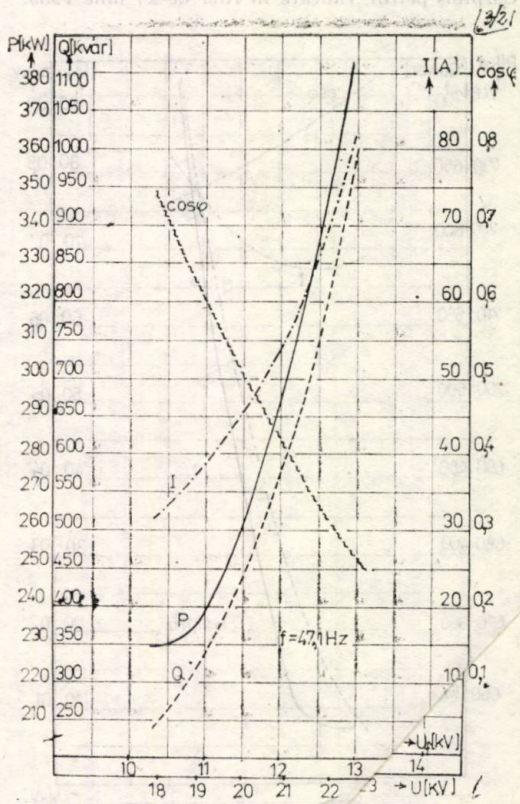


Fig. 2. Caracteristici statice cu tensiunea P = f(U), Q = = f(U), I = f(U), cos φ = f(U) pentru plecarea Orțișoara — — petrol, ridicate în ziua de 31 iulie 1989.

$\cos \varphi$: — 88%. Variațiile deosebit de mari ale puterii reactive și ale curentului, precum și valoarea factorului de putere, dovedesc existența unui puternic grad de saturație, încăr-

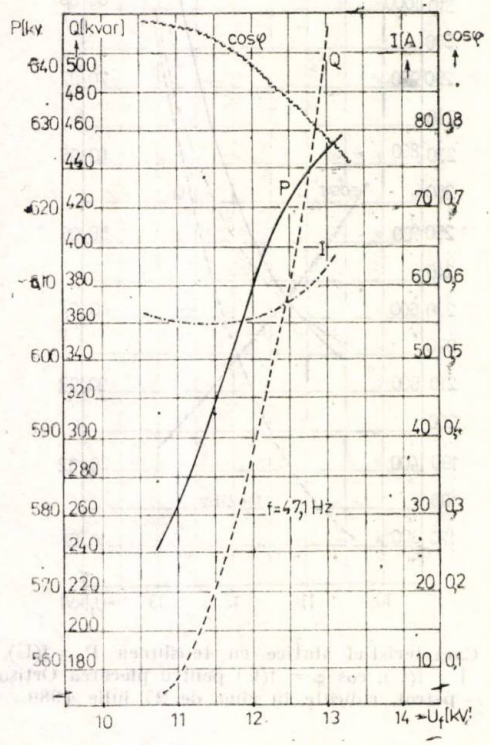


Fig. 3. Caracteristici statice cu tensiunea, pentru plecarea Cărpiniș-petrol, ridicate în ziua de 27 iulie 1989.

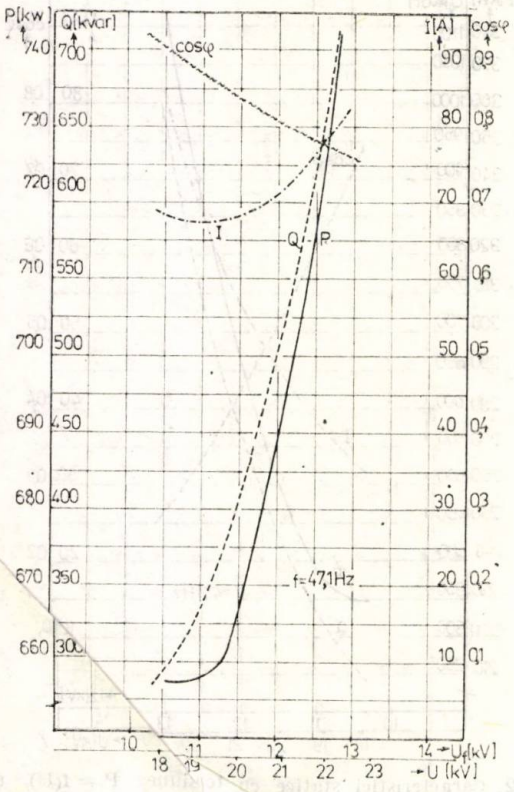


Fig. 4. Caracteristici statice cu tensiunea, pentru plecarea Cărpiniș—petrol, ridicate în ziua de 31 iulie 1989.

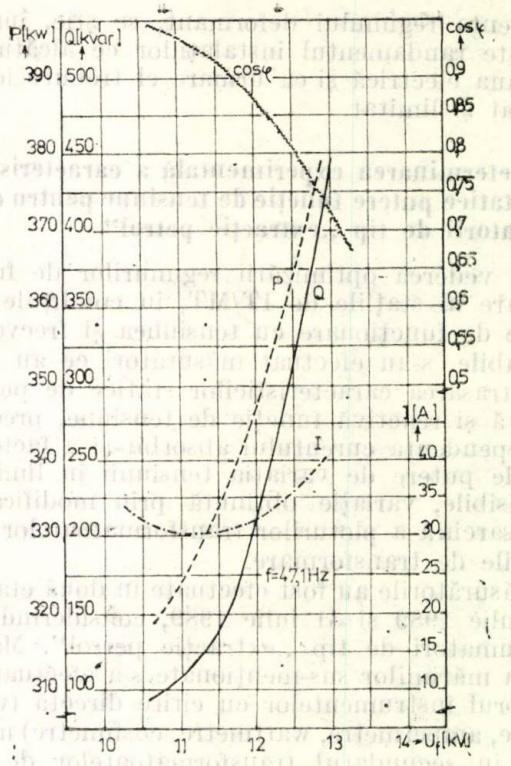


Fig. 5. Caracteristici statice cu tensiunea, pentru plecarea Variaș—petrol, ridicate în ziua de 27 iulie 1989.

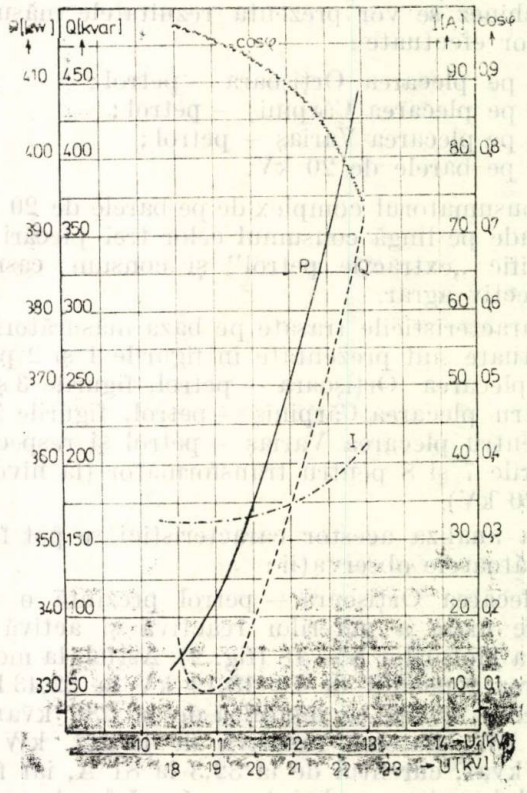


Fig. 6. Caracteristici statice cu tensiunea, pentru plecarea Variaș—petrol, ridicate în ziua de 31 iulie 1989.

carea relativ redusă a unor agregate și inexistența oricăror preocupări privind compensarea puterii reactive la consumator.

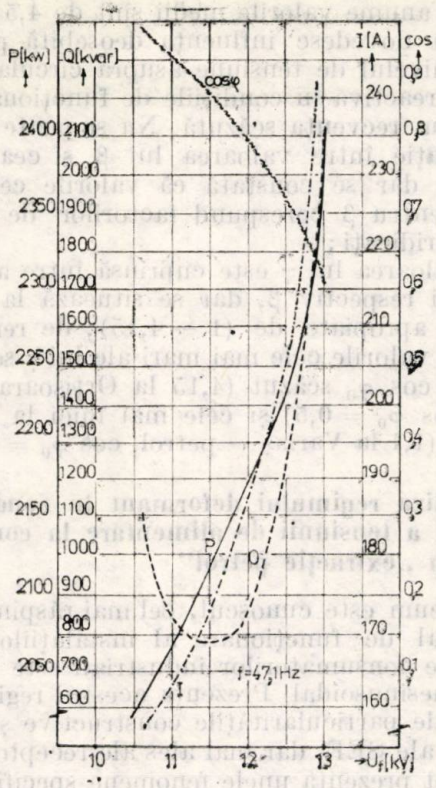


Fig. 7. Caracteristici statice cu tensiunea pentru stația Satchinez, Trafo 20 kV, ridicate în ziua de 27 iulie 1989.

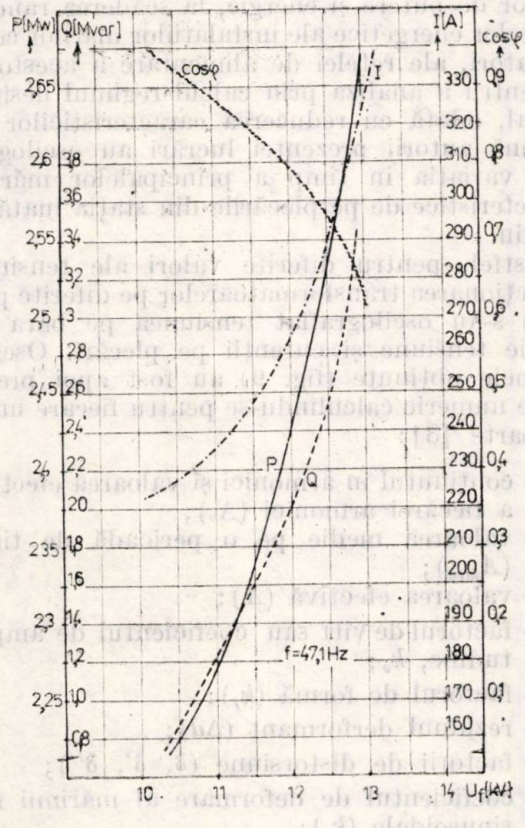


Fig. 8. Caracteristici statice cu tensiunea pentru stația Satchinez, Trafo 20 kV, ridicate în ziua de 31 iulie 1989.

Plecarea Cărpiniș — petrol prezintă o variație relativ mai redusă a puterilor reactivă și activă în gama ploturilor 5—18 (fig. 4). La modificarea tensiunii de la 18,19 kV la 22,43 kV, puterea activă s-a modificat de la 660 la 744 kW, puterea reactivă de la 290 la 765 kvar, curentul de la 68,7 la 82,4 A, iar factorul de putere de la 0,9 la 0,75. Procentual raportate la valorile corespunzătoare tensiunii de 20 kV (667 kW, 400 kvar, 68 A și cos φ = = 0,84), variațiile sînt: pentru P=12%, pentru Q=118%, pentru I=20,15%, iar pentru factorul de putere — 29,79%. Deși variația puterii reactive este deosebit de mare, de aproape 10 ori mai mare decît a puterii active, acest lucru nu se reflectă în valoarea curentului, respectiv a pierderilor în rețea, dat fiind faptul că factorul de putere este relativ ridicat (valoarea medie 0,84).

Plecarea Variaș — petrol prezintă o variație a mărimilor analizate apropiată calitativ de aceea a plecării Cărpiniș (fig. 6); astfel, în valori absolute acestea variază cu valorile de 52 kW pentru puterea activă, 327 kvar pentru puterea reactivă, 6,5 A pentru curent și 0,285 pentru factorul de putere. În procente, raportate la valorile de referință (P = 355 kW, Q = 100 kvar, I = 33 A și cos φ = 0,925), acestea sînt 14,65 % pentru puterea activă, 327 % pentru puterea reactivă, 16,69% pentru curent și —30,8% pentru factorul de putere. Variația deosebit de mare a puterii reactive dovedește pe lîngă existența unei saturații accentuate a circuitelor magnetice a motoarelor electrice și prezența unui puternic regim deformant care pune sub semnul întrebării valorile puterilor activă și reactivă măsurate, întrucît factorul de putere nu mai este corespunzător definit.

Măsurătorile efectuate pe partea de 20 kV a transformatorului din stația Satchinez, au condus la caracteristicile prezentate în figurile 7 și 8, din care se observă că la creșterea tensiunii în gama 18,3 — 22,5 kV, P, Q și I cresc, iar cos φ scade, tendința de variație cea mai pronunțată înregistrînd-o puterea reactivă. În jurul tensiunii nominale, la variația tensiunii cu 1 kV valoarea de fază, gradienții de variație sînt după cum urmează: pentru puterea activă 125 kW/kV$_f$, pentru puterea reactivă 800 kvar/kV$_f$, pentru curent 29 A/kV$_f$, iar pentru factorul de putere — 0,09 variație de factor de putere /kV$_f$.

Din analiza caracteristicilor de sarcină ridicate experimental se constată o concordanță bună între caracteristicile statice de sarcină indicate în literatură și cele determinate experimental în cadrul prezentei lucrări. Această concordanță se referă îndeosebi la aspectul calitativ al dependenței mărimilor P, Q, I, cos φ, de tensiunea U, cantitativ dependența fiind mult mai pronunțată și aceasta din cauza frecvenței actuale cu care se funcționează.

Pentru consumatorul complex de tip staţie de transformare şi respectiv plecări din staţie s-a încercat exprimarea analitică a caracteristicilor de sarcină în jurul punctului de referinţă (considerat la tensiunea nominală). În acest scop s-au admis reprezentări matematice de forma :

$$P_r = U_r^{\alpha};\quad Q_r = U_r^{\beta} \text{ şi } I_r = U_r^{\gamma}, \text{ unde } P_r = P/P_0,\ Q_r = Q/Q_0,\ I_r = I/I_0$$

şi $U_r = U/U_0$ (U_0, P_0, Q_0 şi I_0 corespunzînd punctului de referinţă). S-au admis variaţii ale tensiunii : superior lui U_0 cu 5% şi inferior cu 2,5 % (avîndu-se în vedere rolul staţiei ca element de sursă în reţeaua electrică). Corespunzător s-au calculat valorile coeficienţilor de reglaj α, β şi γ şi s-au mediat între valorile obţinute pentru cele două variaţii. Valorile medii sînt date în tabelul 1.

Tabelul 1

Valorile coeficienţilor de reglaj

Data	Coeficienţi / Plecarea	α	β	γ
31 iulie 1989	Orţişoara — petrol	2,64	6,5	4,15
	Cărpiniş — petrol	0,74	4,5	1,30
	Variaş — petrol	1,042	9,6	1,206
	Trafo 20 kV	0,79	4,57	1,21
27 iulie 1989	Orţişoara — petrol	2,05	5,43	2,65
	Cărpiniş — petrol	0,54	5,83	1,0
	Variaş — petrol	0,81	8,9	1,1
	Trafo 20 kV	1,25	1,71	1,63

Din analiza valorilor coeficienţilor de reglaj se constată următoarele :

— toţi coeficienţii de reglaj în domeniul considerat de variaţie al tensiunii au valori pozitive, deci tendinţa de variaţie a mărimilor P, Q şi I depinde de aceea a tensiunii :

— valoarea lui α este cuprinsă între 0,54 (pentru Cărpiniş — petrol) şi 2,64 (pentru Orţişoara — petrol) ;

— se constată o bună corelaţie între α şi factorul de putere cos φ. Acolo unde factorul de putere are valoarea minimă (Orţişoara — petrol), coeficientul α are valoarea maximă (2,05 ; 2,64) şi invers pentru Cărpiniş — petrol (α = 0,54 ; 0,74). Cu alte cuvinte, sensibilitatea puterii active cu tensiunea depinde de factorul de putere al consumatorului, fiind cu atît mai ridicată cu cît factorul de putere al acestuia este mai scăzut ;

— valoarea lui β este relativ ridicată, mult mai mare decît se indică în majoritatea literaturii şi anume valorile medii sînt de 4,5 — 9,6. Acestea dovedesc influenţa deosebită pe care o are nivelul de tensiune asupra circulaţiei de putere reactivă în condiţiile de funcţionare actuale cu frecvenţa scăzută. Nu se poate stabili o corelaţie între valoarea lui β şi cea a lui cos φ_0, dar se constată că valorile cele mai mari pentru β corespund factorilor de putere cos φ_0 ridicaţi ;

— valoarea lui γ este cuprinsă între aceea a lui α şi respectiv β, dar se situează la valori relativ apropiate de (1 — 4,15) ; de remarcat însă că valorile cele mai mari ale lui γ se obţin pentru cos φ_0 scăzut (4,15 la Orţişoara — petrol, cos φ_0 = 0,5) şi cele mai mici la cos φ_0 ridicat (1,1 la Variaş — petrol, cos φ_0 = 0,925).

3. Analiza regimului deformant în condiţii de variaţie a tensiunii de alimentare la consumatorii tip „extracţie petrol"

Aşa cum este cunoscut, cel mai răspîndit regim real de funcţionare al instalaţiilor electrice ale consumatorilor industriali este cel periodic nesinusoidal. Prezenţa acestui regim este legată de particularităţile constructive şi funcţionale ale SEE, dar mai ales ale receptoarelor, care pot prezenta unele fenomene specifice (saturaţia) în condiţii de funcţionare la frecvenţă scăzută şi se manifestă prin deformarea undei de tensiune de curent, sau de tensiune şi curent, ceea ce conduce în principal la creşterea pierderilor de putere şi energie, la scăderea randamentelor energetice ale instalaţiilor marilor consumatori, ale reţelei de alimentare a acestora.

Pentru a analiza prin calcul regimul nesinusoidal, odată cu reducerea caracteristicilor de sarcină autorii prezentei lucrări au oscilografiat variaţia în timp a principalelor mărimi caracteristice de pe plecările din staţia luată în studiu.

Astfel, pentru diferite valori ale tensiunii (funcţionarea transformatoarelor pe diferite ploturi) s-au oscilografiat tensiunea pe bara de medie tensiune şi curenţii pe plecări. Oscilogramele obţinute (fig. 9) au fost apoi prelucrate numeric calculîndu-se pentru fiecare undă în parte [3] :

— conţinutul în armonici şi valoarea efectivă a fiecărei armonici (A_v) ;
— valoarea medie pe o perioadă de timp (A_{med}) ;
— valoarea efectivă (A) ;
— factorul de vîrf sau coeficientul de amplitudine, k_v ;
— factorul de formă (k_f) ;
— reziduul derformant (Δd) ;
— factorii de distorsiune (δ, δ', δ'') ;
— coeficientul de deformare al mărimii nesinusoidale (k_d) ;
— conţinutul în fundamentală (γ).

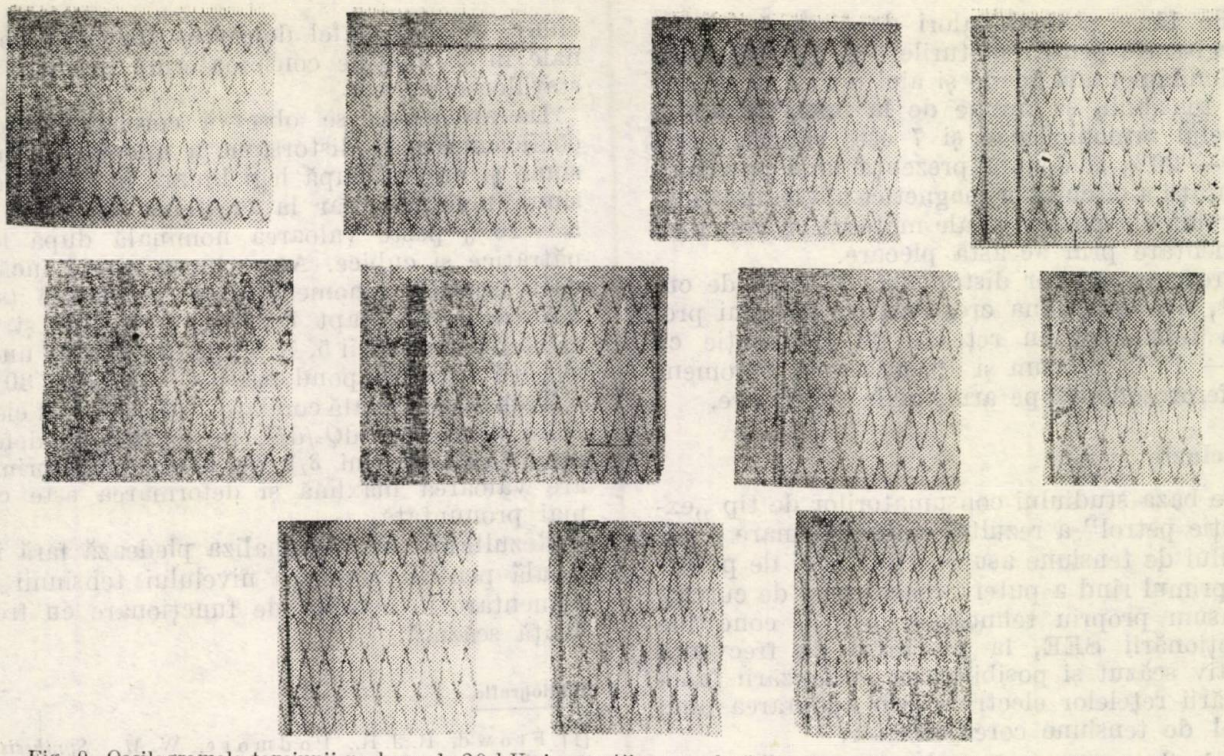


Fig. 9. Oscilogramele tensiunii pe bara de 20 kV și curenților pe plecările din stația Satchinez, înregistrate în data de 31 iulie 1989.

Analiza armonică a acestor oscilograme a indicat următoarele :

— tensiunea este foarte puțin deformată, practic se poate afirma că este sinusoidală ; prezintă un coeficient de deformare sub valoarea de 3% și conținutul în fundamentală depășește valoarea de 0,998. Coeficientul de distorsiune este foarte redus și rămîne practic constant cu valoarea tensiunii (poziția plotului) ;

— curentul de pe plecarea Cărpiniș — petrol prezintă în timp o alură dependentă de nivelul de tensiune. Dacă pentru ploturile inferioare deformarea (distorsiunea) este neînsemnată, pentru ploturile 15, 17, 18 aceasta crește, atingînd valoarea de 7 — 8%. Conținutul în fundamentală se menține la valori ridicate și practic constante, 0, 998. Ponderea armonicilor impare este importantă și ea crește ușor cu creșterea tensiunii, nedepășind însă valori de 4% din valoarea efectivă ;

— curentul de pe plecarea Variaș — petrol prezintă o variație în timp foarte asemănătoare cu cea a curentului de pe plecarea Cărpiniș — petrol, cu observația că la tensiuni ridicate gradul de deformare al undei estimat prin coeficientul de distorsiune crește atingînd valori de 27 — 30%. În aceeași măsură urmărește creșterea tensiunii și conținutul lor în fundamentală, care se modifică de la 0,997 pînă la 0,93. Valoarea din urmă semnifică o abatere sensibilă de la variația sinusoidală. În ceea ce privește nivelul armonicilor impare se constată (de fapt după cum se observă și din fig. 9) ponderea importantă a armonicilor 5, 7, 3 (în ordine), prima atingînd în cazul ploturilor 17, 18 ponderea de aproape 20%.

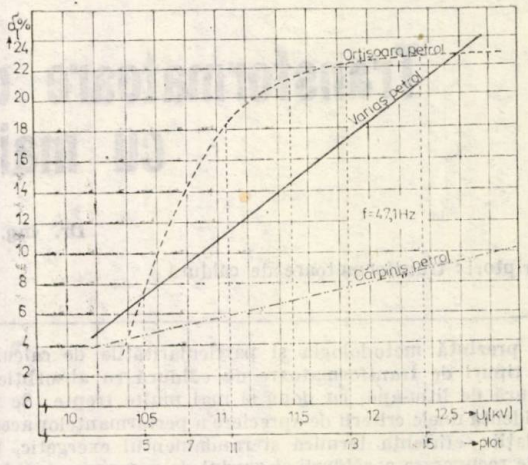


Fig. 10. Variația cu tensiunea (cu poziția plotului) a coeficientului de distorsiune pentru curenții pe plecările „extracție -petrol" din stația de transformare Satchinez.

— Curentul de pe plecarea Orțișoara — petrol prezintă deformări pronunțate ,atît pentru valorile mici ale tensiunii (ploturile 5 sau 7), cît și pentru valorile ridicate (ploturile 15,17 sau 18). Dintre mărimile urmărite, acest curent prezintă cel mai constant grad de distorsiune de valoare relativ ridicată ($\delta = 20\%$) pentru valorile relativ ridicate ale tensiunii (plo-

turile 11 — 18) şi valori de circa 5 — 6% înregistrate pentru ploturile 5 şi 7. Conţinutul în fundamentală scade şi aici odată cu creşterea tensiunii, şi anume de la 0,998 la 0,977. Nivelul armonicilor 5 şi 7 este ridicat, peste 15 — 20% şi denotă prezenţa unei puternice saturaţii a circuitelor magnetice ale transformatoarelor din posturi şi ale motoarelor asincrone alimentate prin această plecare.

Prezenţa acestor distorsiuni, în unda de curent, va determina creşterea consumului propriu tehnologic în reţelele de distribuţie cu 10 — 15%, precum şi apariţia unor fenomene de ferorezonanţă pe armonicile superioare.

Concluzii

Pe baza studiului consumatorilor de tip „extracţie petrol" a rezultat influenţa mare a nivelului de tensiune asupra circulaţiei de putere (în primul rînd a puterii reactive) şi de curenţi (consum propriu tehnologic-cpt) în condiţiile funcţionării SEE, la un nivel de frecvenţă relativ scăzut şi posibilitatea optimizării funcţionării reţelelor electrice prin adoptarea unui nivel de tensiune corespunzător.

Valorile pozitive ale coeficienţilor de reglaj, valorile lor de regulă supraunitare în raport cu punctul de referinţă considerat la tensiunea nominală, mai ales dQ_r/dU_r justifică în condiţiile actuale ale nivelului de frecvenţă, funcţionarea la limita inferioară a benzii de tensiune, evitînd astfel depăşirea tensiunii nominale în instalaţiile consumatorilor şi chiar ale staţiilor electrice.

De asemenea, se observă corelarea valorii coeficienţilor de distorsiune a undelor de tensiune şi curent după legi liniare în jurul tensiunii nominale, iar la creşterea tensiunii cu 5 — 10% peste valoarea nominală după legi pătratice şi cubice. Acest lucru atestă încă o dată apariţia fenomenului de rezonanţă (sau ferorezonanţă), fapt confirmat în plus şi de creşterea armonicii 5, 7, prima atingînd în unele situaţii extreme ponderea de aproape 30%.

Trebuie subliniată corelarea valorilor coeficientului de reglare dQ_r/dU_r cu gradul de deformare (valoarea lui δ_I), de acolo unde primul are valoarea maximă şi deformarea este cea mai pronunţată.

Rezultatele acestei analiza pledează fără îndoială pentru reducerea nivelului tensiunii de alimentare în condiţii de funcţionare cu frecvenţă scăzută.

Bibliografie

[1] Frowd, R. J. R., Podmore, W. M. *Synthesis o dinamic Load models for Stability Studies.* În: IEEE, PAS 101, Nr. 1, Ian 1982, pp. 127—136.

[2] Moga, M., Buta, A., Ivaşcu, C., Milea, L. *Determinarea experimentală a caracteristicilor statice de putere funcţie de tensiune ale consumatorilor complecşi.* În: Energetica, vol. 36, nr. 2, febr. 1988, pp. 56—61.

(Primit la 2 februarie 1990, acceptat la 2 aprilie 1990)

Transformatoare de căldură cu absorbţie, cu mai multe trepte

Dr. ing. SAVA PORNEALĂ*

BIETE

Descriptori: transformatoare de căldură

Se prezintă metodologia şi particularităţile de calcul al unor tipuri de transformatoare de căldură cu absorbţie cu bromură de litiu-apă, cu două şi mai multe trepte. Se pun în evidenţă unele criterii de apreciere a performanţelor acestor instalaţii: eficienţa termică şi randamentul exergetic, gradul de recuperare a căldurii şi gradul de pompare a căldurii. Pe baza acestor criterii, se prezintă o analiză comparativă între diferitele tipuri de transformatoare de căldură cu absorbţie într-o treaptă, cu două şi mai multe trepte.

The paper presents the calculation procedure with its pecularities for certain types of two-and multistage heat transformers with lithium bromide-water absorbtion.

The author looks at certain evaluation criteria of these facilities performances: the thermal efficiency and the exergetic efficiency, the heat recovery index and the heat pumping index. Based on these criteria, a comparative analysis is presented between the various types of single and multistage heat transformers with absorbtion.

1. Necesitatea utilizării transformatoarelor de căldură cu mai multe trepte

Într-o lucrare anterioară [1] a fost evidenţiată importanţa transformatoarelor de căldură în ceea ce priveşte ridicarea potenţialului termic al unor surse disponibile şi neutilizabile în forma lor de existenţă, cît şi unele comparaţii între diferite tipuri de astfel de instalaţii într-o treaptă. Cele mai recente cercetări asupra transformatoarelor de căldură vizează utilizarea bromurii de litiu-apă, care prezintă avantaje deosebite în raport cu soluţia amoniacală, sau

* Dr. ing. Sava Porneală — Universitatea din Galaţi.

alte cupluri. Din acest motiv, prezenta lucrare tratează numai transformatoarele de căldură cu bromură de litiu-apă.

Instalaţiile cu două, sau mai multe trepte, sînt mai complicate din punct de vedere constructiv, dar prezintă o serie de avantaje în comparaţie cu instalaţia într-o treaptă ca, de exemplu, utilizarea mai completă a energiei termice a agentului uzat, realizarea unui salt de temperatură mai ridicat, obţinerea unui randament exergetic mai bun [2].

2. Transformatoare de căldură cu două trepte

În figura 1 se prezintă schema de principiu a unei variante de transformator de căldură cu două trepte [3], iar în figura 2 este redat procesul de lucru în diagrama $i - \xi$ (entalpie — concentraţie).

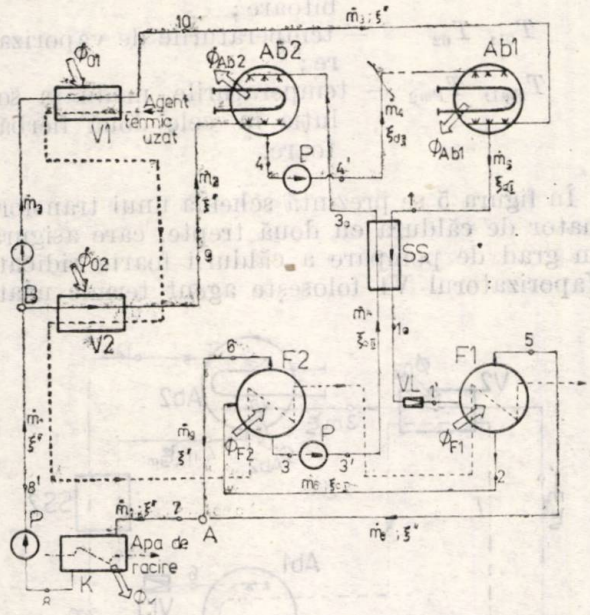


Fig. 1

Calculul termic a fost efectuat prin metoda propusă de autor [4, 5] şi prezintă particularitatea că pentru proiectare nu vor fi impuse sarcinile termice utile ale celor două absorbitoare Φ_{Ab1} şi Φ_{Ab2}, realizate la temperaturi diferite, ci suma lor $(\Phi_{Ab1} + \Phi_{Ab2})$, ceea ce presupune să se considere ansamblul format din aparatele Ab1 şi Ab2 ca un nod energetic. Se pot determina apoi valorile Φ_{Ab1} şi Φ_{Ab2} prin calcul, folosind ecuaţiile de bilanţ termic pe aparatele respective.

Pentru a se efectua calculul termic se impune temperatura în starea $3a$ şi se neglijează creşterea entalpiei în pompe.

Mărimile caracteristice pentru calculul termic al acestei instalaţii sînt :

$k = 2$, apa şi bromura de litiu

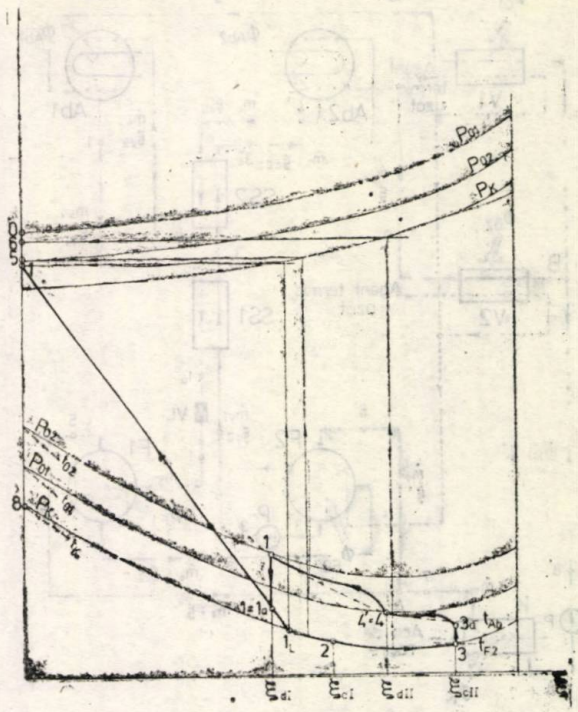


Fig. 2

$n = 6$, A, B, Ab1, Ab2, F1 şi F2

$n_e = 4$, A, (Ab1 + Ab2), F1 şi F2

$l_1 = 2$, A şi B

$l_2 = 4$, Ab1, Ab2, F1 şi F2

$s = 4$, V1, V2, K şi SS

Numărul de ecuaţii distincte este :

$$n_t = l_1 + 2l_2 - k + n_e + s = 2 + \\ + 2 \cdot 4 - 2 + 4 + 4 = 16.$$

În aceste ecuaţii intervin 16 mărimi necunoscute care pot fi determinate : $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2 \cdots$ $\cdots \dot{m}_9$, i_{4a}, i_7, Φ_{01}, Φ_{02}, Φ_K, Φ_{K1} şi Φ_{F2}.

În figura 3 se prezintă o variantă îmbunătăţită, la care se folosesc două regeneratoare de căldură SS1 şi SS2. Procesul de lucru din această instalaţie este reprezentat în diagrama $i - \xi$ din figura 4. În instalaţie există două niveluri de presiune : $p_K = p_{F1} = p_{F2}$ şi $p_{01} = p_{02} = p_{Ab1} = p_{Ab2} = p_0$, dar se obţin temperaturi diferite în cele două absorbitoare, şi anume $t_4 > t_1$.

Pentru a aprecia transformarea energetică şi exergetică în cadrul instalaţiilor se folosesc noţiunile de *eficienţă termică* ξ (sau coeficientul de pompare a căldurii) şi de *randament ener-*

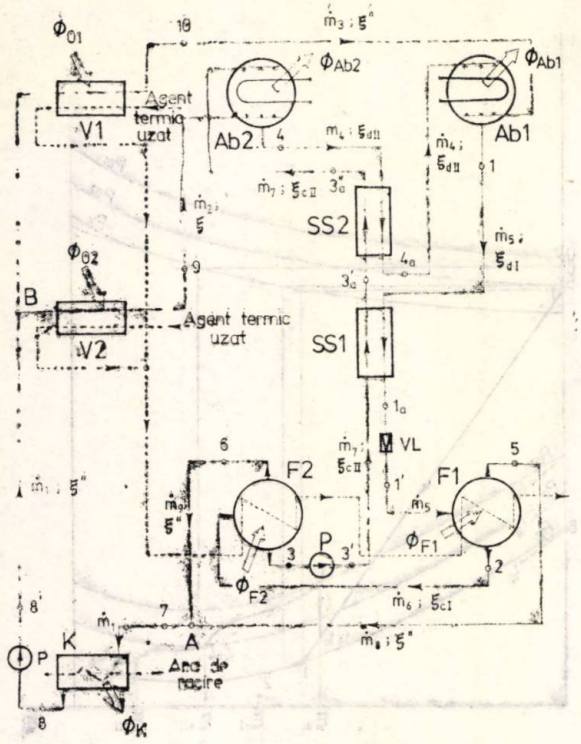


Fig. 3

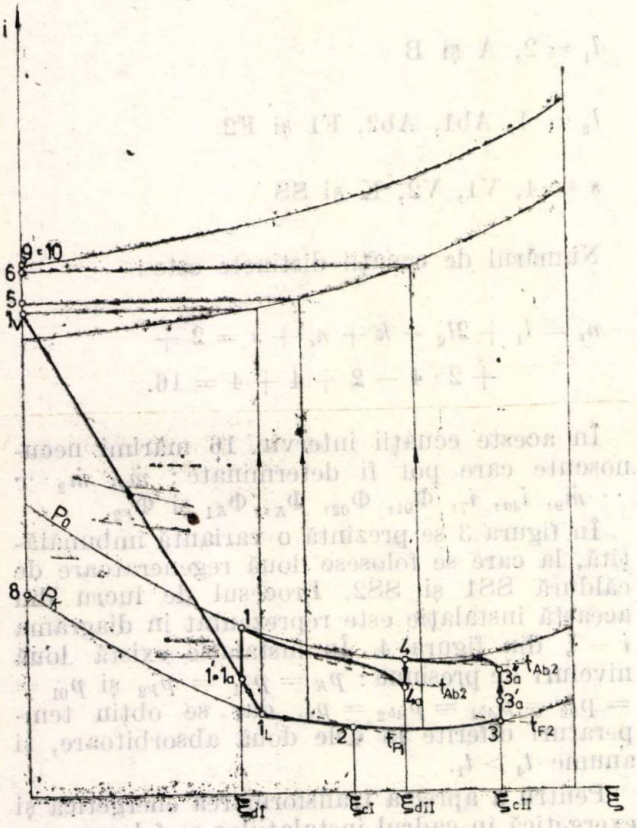


Fig. 4

getic η_{ex}, definite pe baza primului şi a celui de al doilea principiu al termodinamicii, prin relaţiile :

$$\xi = \frac{\Phi_{Ab1} + \Phi_{Ab2}}{\Phi_{01} + \Phi_{02} + \Phi_{F1} + \Phi_{F2}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{\Phi_{Ab1}\left(1 - \frac{T_a}{T_{Abm1}}\right) + \Phi_{Ab2}\left(1 - \frac{T_a}{T_{Abm2}}\right)}{\Phi_{01}\left(1 - \frac{T_a}{T_{01}}\right) + \Phi_{02}\left(1 - \frac{T}{T_{02}}\right) + \Phi_{F1}\left(1 - \frac{T_a}{T_{Fm1}}\right) + \Phi_{F2}\left(1 - \frac{T_a}{T_{Fm2}}\right)},$$

unde : T_a reprezintă temperatura mediului ambiant ;

T_{Abm1}, T_{Abm2} — temperaturile medii în soluţie în cele două absorbitoare ;

T_{01}, T_{02} — temperaturile de vaporizare ;

T_{Fm1}, T_{Fm2} — temperaturile medii în soluţie în cele două fierbătoare.

În figura 5 se prezintă schema unui transformator de căldură cu două trepte, care asigură un grad de pompare a căldurii foarte ridicat. Vaporizatorul V1 foloseşte agent termic uzat,

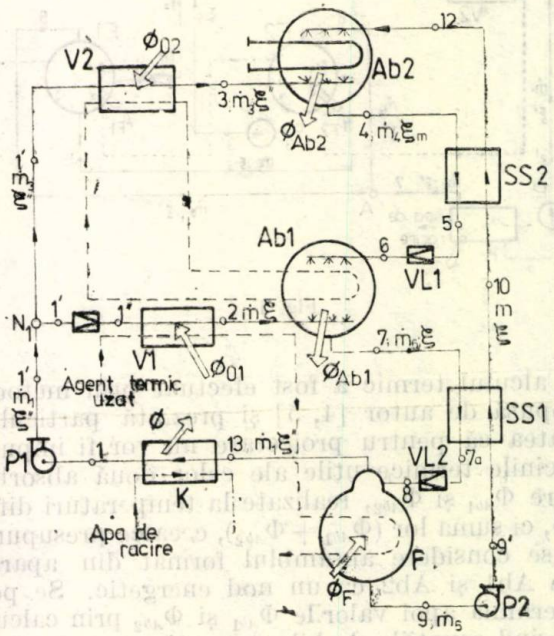


Fig. 5

iar vaporizatorul V2, de tip regenerativ, foloseşte căldura extrasă în absorbitorul Ab1. Procesul de lucru este redat în figura 6 în diagramele i — ξ şi lg p — i. În absorbitorul Ab2 se obţine agent termic cu o temperatură ridicată, sensibil mai mare decît temperatura realizată

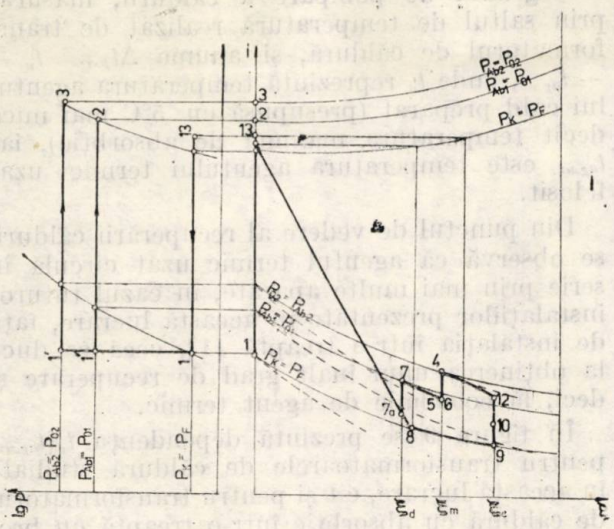


Fig. 6

în Ab1, dar randamentul exergetic al acestei instalaţii este mai mic decît al transformatoarelor prezentate în figurile 1 şi 3.

3. Transformatoare de căldură cu mai multe trepte

În figura 7 se prezintă schema unei astfel de instalaţii formată din: trei vaporizatoare, patru fierbătoare şi un condensator comun. Procesul de lucru este redat în diagrama $i - \xi$ din figura 8. Agentul termic uzat

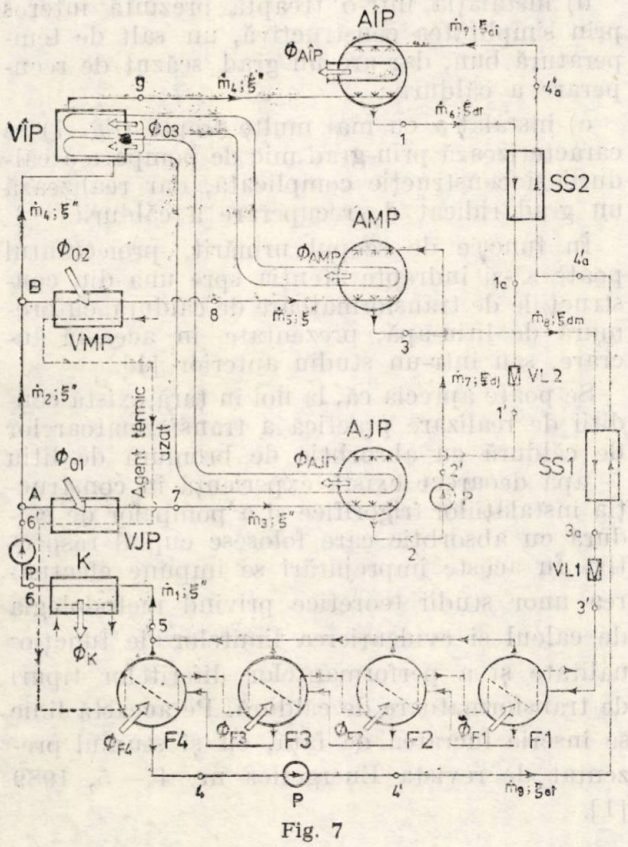


Fig. 7

circulă în serie prin aparatele VMP (vaporizator de medie presiune), VJP (vaporizator de joasă presiune) şi apoi prin cele patru fierbătoare, reducîndu-şi temperatura de la 98°C pînă la 52°C [3], ceea ce înseamnă o utilizare raţională a sursei termice. Vaporizatorul de înaltă presiune VIP este de tipul regenerativ, funcţionînd pe baza surselor termice interne de la absorbitorul AJP (de joasă presiune) şi

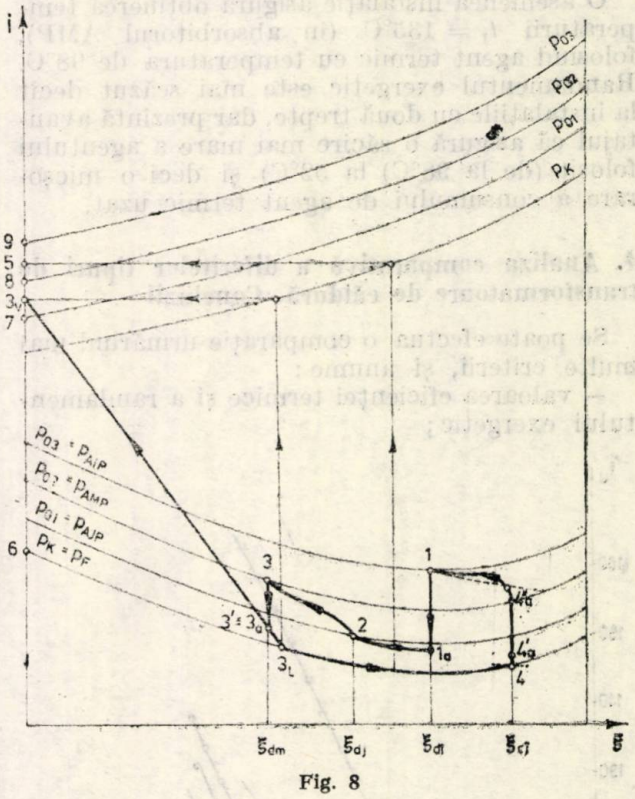


Fig. 8

de la absorbitorul AMP (de medie presiune) În condiţiile în care $(\Phi_{AJP}+\Phi_{AMP})>\Phi_{03}$, diferenţa $(\Phi_{AJP}+\Phi_{AMP})-\Phi_{03}$ reprezintă un flux de căldură util la temperatura $t_3 = t_2$ şi care poate fi folosit împreună cu fluxul Φ_{AIP} obţin la temperatura t_1.

În instalaţie există patru niveluri de presiune: $p_K = p_F$, determinată de temperatura apei de răcire; $p_{01} = p_{AJP}$, $p_{02} = p_{AMP}$, $p_{03} = p_{AIP}$ – determinate de temperaturile agentului termic uzat la intrarea în vaporizatoare.

Pentru efectuarea calculului termic se consideră cunoscute atît temperaturile în stările la $(t_{1a}>t_{4'a})$ şi $4''a$ $(t_{4''a}<t_1)$, cît şi sarcina termică Φ_{AIP}. Se neglijează creşterea entalpiei în pompe şi rezultă următoarele elemente de calcul [4]:

$k = 2$, apa şi bromura de litiu

$n = 6$, A, B, AJP, AMP, AIP şi fierbătorul F format din ansamblul (F1 + F2 + F3 + F4).

$l_1 = 2$, A şi B

$l_2 = n_e = 4$, AJP, AMP, AIP şi F

$s = 6$, K, VJP, VMP, VIP, SS1 şi SS2

Rezultă :

$$n_t = l_1 + 2l_2 - k + n_e + s = 2 + 2 \cdot$$

$$\cdot 4 - 2 + 4 + 6 = 18 \text{ ecuații}$$

Mărimile necunoscute, în număr de 18, sînt : $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$, $\dot{m}_3 \cdots \dot{m}_9$; i_{3a}, $i_{4'a}$, Φ_{01}, Φ_{02}, Φ_{03}, Φ_K, Φ_F ; Φ_{AJP} și Φ_{AMP}. S-a notat cu Φ_F sarcina termică a ansamblului format din F1, F2, F3 și F4.

O asemenea instalație asigură obținerea temperaturii $t_1 = 135°C$ (în absorbitorul AMP), folosind agent termic cu temperatura de 98°C. Randamentul exergetic este mai scăzut decît la instalațiile cu două trepte, dar prezintă avantajul că asigură o răcire mai mare a agentului folosit (de la 98°C) la 52°C) și deci o micșorare a consumului de agent termic uzat.

4. Analiza comparativă a diferitelor tipuri de transformatoare de căldură. Concluzii

Se poate efectua o comparație urmărind mai multe criterii, și anume :

— valoarea eficienței termice și a randamentului exergetic ;

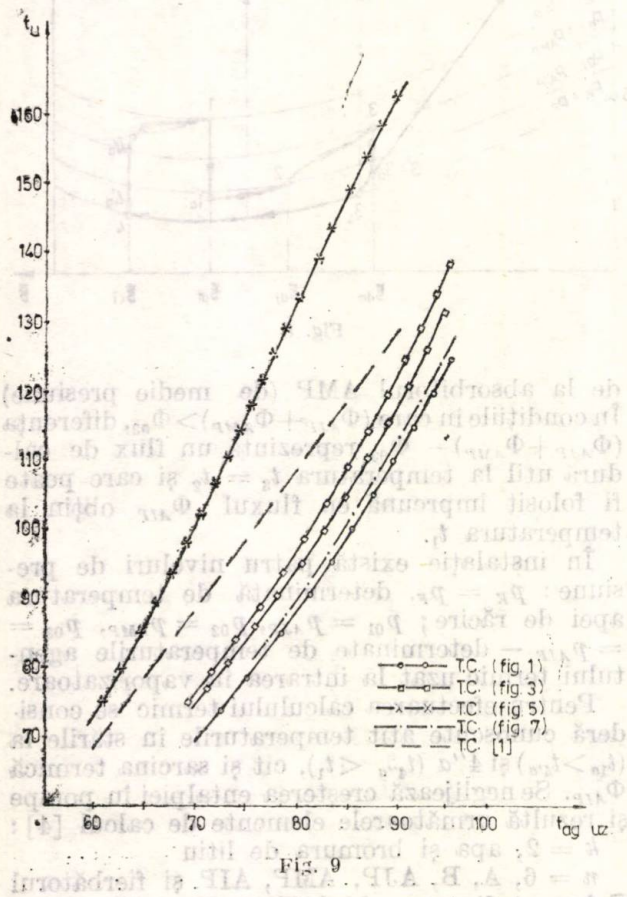


Fig. 9

— gradul de recuperare a căldurii de la agentul termic uzat, măsurat prin variația temperaturii acestuia între starea de intrare și cea de ieșire din instalație ;

— gradul de pompare a căldurii, măsurat prin saltul de temperatură realizat de transformatorul de căldură, și anume $\Delta t_{P.C} = t_u - t_{ag.uz}$, unde t_u reprezintă temperatura agentului cald preparat (presupusă cu 5°C mai mică decît temperatura maximă de absorbție), iar $t_{ag.uz.}$ este temperatura agentului termic uzat folosit.

Din punctul de vedere al recuperării căldurii se observă că agentul termic uzat circulă în serie prin mai multe aparate, în cazul tuturor instalațiilor prezentate în această lucrare, față de instalația într-o treaptă [1], ceea ce duce la obținerea unui înalt grad de recuperare și deci, la economie de agent termic.

În figura 9 se prezintă dependența $t_u(t_{ag.uz})$ pentru transformatoarele de căldură studiate în această lucrare, cît și pentru transformatorul de căldură cu absorbție într-o treaptă cu bromură de litiu — apă [1], pentru zone de degazare de 6% și pentru temperatura de condensare $t_K = 30°C$.

Pentru instalația din figura 3 s-a notat $t_{u1} = t_1 - 5°C$ și $t_{u2} = t_4 - 5°C$.

Analizînd graficele din figura 9 se desprind următoarele **concluzii** :

a) cel mai mare salt de temperatură se poate obține cu ajutorul transformatorului de căldură în două trepte (fig. 5), dar care se caracterizează prin randament exergetic și grad de recuperare a căldurii mici în comparație cu instalațiile din figurile 1 și 3 ;

b) instalația într-o treaptă prezintă interes prin simplitatea constructivă, un salt de temperatură bun, dar are un grad scăzut de recuperare a căldurii ;

c) instalația cu mai multe trepte (fig. 7) se caracterizează prin grad mic de pompare a căldurii și construcție complicată, dar realizează un grad ridicat de recuperare a căldurii.

În funcție de scopul urmărit, proiectantul poate să-și îndrepte atenția spre una din construcțiile de transformatoare de căldură cu bromură de litiu-apă, prezentate în această lucrare, sau într-un studiu anterior [1].

Se poate aprecia că, la noi în țară există condiții de realizare practică a transformatoarelor de căldură cu absorbție de bromură de litiu — apă deoarece există experiență în construcția instalațiilor frigorifice și a pompelor de căldură cu absorbție care folosesc cuplul respectiv. În aceste împrejurări se impune efectuarea unor studii teoretice privind metodologia de calcul și evidențierea limitelor de funcționalitate și a performanțelor diferitelor tipuri de transformatoare de căldură. Pe această linie se înscrie lucrarea de față, cît și studiul prezentat de revista Energetica nr. 4 — 5, 1989 [1].

Se poate aprecia că realizarea practică a acestor tipuri de instalaţii va duce atît la valorificarea şi gospodărirea judicioasă a surselor termice reziduale, cît şi la economii însemnate de combustibil.

Bibliografie

[1] Porneală, S. *Transformatoare de căldură cu absorbţie sau cu resorbţie, într-o treaptă.* În: Energetica, 37, 1989, nr. 4 — 5, p. 174 — 181.

[2] Porneală, S. *Transformatoarele de căldură cu performanţe ridicate.* A XV-a Consfătuire a termoenergeticienilor din România, Braşov, dec. ,1988.

[5] Wilkinson, W., Hanna, W. *Process and system for boosting the temperature of sensible waste heat sources.* Brevet de invenţie nr. 4333515, 1982.

[4 Porneală, S. *Calculul termic al instalaţiilor termoenergetice.* În: Revista de chimie, Buc. 27, nr. 3, 1976, p. 223.

[5] Porneală, S. *Analysen — und Berechnungsmethode für Kalteanlangen,* Bul. Univ. Galaţi, anul I, 1987, Fasc. IV, p. 27 — 37.

(Primit la 10 noiembrie 1989, acceptat la 2 aprilie 1990)

NOUTĂŢI

De la Comitetul Naţional Român al CIGRE

În ziua de 16 februarie 1990 a avut loc la Paris reuniunea Grupului de lucru 37 — 03 ,,Factori ce influenţează creşterea consumului de energie electrică" — organ subsidiar al Comitetului Internaţional de Studii 37 ,,Planificarea şi dezvoltarea sistemelor electroenergetice" — al CIGRE.

La reuniune au participat membri ai grupului de lucru din următoarele ţări: Franţa, Belgia, Olanda, R.F.G., Suedia, Italia şi România.

Subsemnatul am fost cooptat ca membru al Grupului de lucru 37—03 în anul 1983, în urma propunerii Comitetului Naţional Român al CIGRE, reuniunea sus-menţionată fiind însă prima la care am putut lua parte efectiv.

În cursul reuniunii, printre feluritele probleme aflate la ordinea de zi, de principala atenţie s-a bucurat problema producerii combinate a energiei electrice şi căldurii — problema termoficării ca factor de influenţă a consumului de energie electrică. Raportul întocmit şi prezentat în această problemă de către d-l Van der Berg — Olanda îşi propune să examineze circumstanţele care conduc la dezvoltarea capacităţilor de producere în termoficare în unele ţări şi în acelaşi timp, la restrîngerea treptată a acestora în altele. În acest scop, după trecerea rapidă în revistă a principalelor tehnologii folosite în scop de termoficare, se examinează cu precădere aspectele economice care stabilesc poziţia actuală a termoficării, precum şi perspectivele sale.

Printre aplicaţiile tehnologice enumerate, dintre care majoritatea sînt cunoscute şi utilizate în ţara noastră, se detaşează tehnologia termoficării pe scară redusă, relativ nouă, dar în dezvoltare rapidă, bazată pe instalaţii staţionare diesel şi cu gaze, devenite tot mai populare, în special în sectorul comercial (spitale, complexe de magazine ori birouri). Instalaţiile de termoficare de mici dimensiuni sînt disponibile ca livrări complexe, sînt uşor de instalat şi de exploatat. Partea negativă, în special a instalaţiilor cu gaze, este emisia de NO_x.

Diferenţele ce apar între ţări în privinţa eficacităţii economice a termoficării provin din mai multe cauze, printre care primează reglementările instituţionale existente în diferite ţări. Astfel, un rol important îl joacă posibilitatea, sau blocarea acesteia, de a furniza în reţelele publice surplusul faţă de consumul propriu, al energiei electrice produse în termoficare şi preţul de preluare obtenabil pentru acest surplus. Sînt în acelaşi sens importante reglementările guvernamentale privind condiţiile de protecţie a mediului, precum şi atitudinea guvernamentală faţă de termoficare, respectiv eventuale măsuri de stimulare economică a termoficării (alocaţiile de fonduri de investiţii, facilităţile de plată a impozitelor).

Previziunile privind viitorul termoficării stau în momentul de faţă sub semnul a două tendinţe contradictorii: pe de o parte, tendinţa spre utilizarea raţională a energiei legată printre altele de condiţiile tot mai riguroase impuse de ecologie (tendinţa favorizantă) şi, pe de altă parte, preţurile reduse în momentul de faţă pentru purtătorii de energie, care reduc interesul investiţiilor pentru termoficare. Aici factorul decisiv este raportul dintre costul marginal pe termen scurt al energiei electrice produse în sistem şi preţul său de vînzare: dacă primul este superior, termoficarea este stimulată, în caz contrar, producerea de energie electrică în termoficare se mărgineşte numai la necesităţile proprii ale consumatorului de căldură.

Cît priveşte termoficarea pornind de la scopuri de încălzire, problema devine mai dificilă deoarece preţurile pentru căldura furnizată trebuie să fie competitive în condiţiile acoperirii investiţiilor şi cheltuielilor necesitate şi de reţeaua de transport şi distribuţie a căldurii. Această condiţie este de asemenea puternic dependentă de evoluţia viitoare a preţurilor pentru purtătorii de energie, actualele preţuri scăzute nefiind încurajatoare.

În discuţiile purtate pe marginea proiectului de raport am arătat, printre altele, care sînt realizările din România în domeniul termoficării, elementele respective urmînd a fi incluse în forma finală a lucrării.

Din discuţiile purtate a rezultat totodată că în prezent încălzirea spaţiilor este un domeniu în care apar economii majore de energie provocate de modernizarea izolării clădirilor. Participanţii din partea nordică a continentului au arătat că în prezent nivelul de izolaţie practicat, graţie noilor materiale şi procedee folosite, este suficient pentru a nu necesita aport exterior de căldură pînă la temperaturi medii exterioare de $-(4 \div 5)^\circ$ C (aportul de căldură al persoanelor ce locuiesc şi al diferitelor activităţi, acoperă pierderile prin izolaţie termică).

În aceste noi condiţii, pe lîngă că apare o nouă problemă — cea a evacuării surplusului de căldură, a ventilării, oportunitatea încălzirii centralizate, legată de investiţii importante în reţelele de transport — distribuţia căldurii, tinde să se reducă în perspectivă.

Dezbaterile ce au avut loc pe marginea celorlate puncte de pe ordinea de zi, au avut un caracter mai pronunţat organizatoric.

Dr. ing. Emil Costin
membru al GL 37—03 CIGRE

Criza energetică — unele cauze principale și cîteva condiții pentru lichidarea ei

(Opinii)

Ing. VICTOR IANCOVICI *

Descriptori: criza energetică, dezvoltare energetică

Articolul abordează cîteva dintre aspectele principale ale crizei energetice grave cu are a fost confruntată în ultimii 15 ani activitatea economică și socială din țara noastră; se insistă în mod deosebit asupra energiei electrice, menționîndu-se însă și conexiunile cu problematica mai largă a resurselor energetice primare. Sînt prezentate: elemente specifice care caracterizează, calitativ și cantitativ, consecințele crizei energetice, unele cauze de fond ale acesteia, precum și un număr de orientări și măsuri considerate ca oportune pentru lichidarea ei. Cifrele se referă, în general, la perioada 1975—1987, pentru care s-a dispus de date certe.

Evocîndu-se consecințele grave ale crizei energetice se arată, între altele, că deși s-a alocat peste 75% din energia electrică destinată consumului intern pentru industrie, cerințele acesteia — în structura și la dimensiunile irațională la care a fost dezvoltată — nu au fost satisfăcute, ceea ce a condus la dereglări majore ale proceselor de producție. Ca urmare a ponderii excesive a consumului industriei, au fost reduse pînă la niveluri inadmisibile consumurile sociale de toate categoriile (în 1987, față de consumul intern: consumul casnic 6,1%, gospodăria comunală 1,7% etc.), ceea ce a determinat și pe această cale degradarea continuă a condițiilor de viață ale populației.

În perioada 1975—1987, realizarea, practic exclusivă, de capacități noi în termocentrale numai pe cărbuni a dus la creșterea puterii instalate în centralele de acest fel de peste 2,8 ori, în timp ce sporul energiei produse pe bază de cărbuni a fost de numai 38,5%; aceasta a făcut ca, în perioada respectivă, creșterea energiei produse în ansamblul centralelor Ministerului Energiei Electrice să fie de numai 38%, la o creștere a puterii instalate cu 88%. Ca rezultat, utilizarea puterii instalate la sfîrșitul fiecărui an a scăzut simțitor (cu peste 25% pe total, dar cu mai mult decît 50% la energia produsă pe bază de cărbuni).

Între principalele cauze ale situației la care s-a ajuns se analizează, mai întîi, cele legate de funcționarea defectuoasă, sub performanțele minim admisibile, a noilor capacități pe cărbuni, realizate în anii '70 și '80. În condițiile absolutizării nejustificate a orientării numai spre astfel de termocentrale, se relevă funcționarea în permanență cu mult sub capacitate a centralelor Rovinari și Turceni, a căror putere reprezenta în 1987 jumătate din puterea totală a centralelor pe cărbuni. Sînt analizate în continuare: aspectele negative ale soluției tehnice utilizate la cele două centrale spre deosebire de termocentrala Işalnița; degradarea continuă a calității cărbunilor energetici; prelungirea din ce în ce mai mare a duratelor de execuție ale investițiilor energetice. În final, ca una dintre cele mai importante cauze ale crizei energetice, se analizează consecințele nefaste pe care le-a avut modul în care au fost concepute și dezvoltate structurile economice și în mod deosebit cele ale industriei; în cadrul acestora au fost favorizate cu precădere subramurile cele mai energointensive, mari consumatoare nu numai de energie electrică, dar și de resurse primare de calitate superioară (de care industria energiei electrice a fost sistematic lipsită). Astfel, de exemplu, numai metalurgia feroasă și neferoasă și chimia au consumat mai mult decît jumătate din energia electrică alocată indus-

The paper tackles some of the main aspects of the severe energy crisis with wich the economic and the social activity in our country was confronted during the last 15 years; the problems of the electrical energy are especially emphasised but their connections with the wider problems of the primary energy sources are also mentioned.

There are presented: specific elements characterising, qualitatively and quantitatively, the consequences of the energy crisis, some of its basic causes as well as a number of orientations and measures estimated as convenient for its elimination. In general, the figures take into account the period 1975—1987, for wich data were available.

Referring to the severe consequences of the energy crisis, it is shown, among other things, that, though more than 75 per cent of the domestic consumption of electrical energy was alocated to industry, its requirements — bearing in mind the irrational structure and dimensions of its development — were not met, this situation causing major disturbances of the manufacturing processes. As a result of the excessive weight of the industrial consumption, all kinds of social consumptions were reduced to unacceptable levels (in 1987, compared with the domestic consumption household consumption was 6,1%, that of communal services was 1,7% a.s.o.), this situation also representing an important element wich contributed to the continuous degradation of the population's living conditions.

In the 1975—1987 period, the construction and use of new capacities in thermo-power plants, based practically exlusively on coal, led to an increase of more than 2,8 times of the power in this kind of power plants, while the energy generated on the basis of coal increased by only 38 5%; owing to this fact, in the some period, the energy generated by all the power plants belonging to the Ministry of Electrical Energy increased by only 38%, in comparison with an increase of 88%, of their power. As a result, at the end of each year, utilization of the installed power abruptly decreased (by more than 25% for the whole power, but with more than 50% for the power of the platns utilizing coal).

Among the main causes of this situation, firstly are examined the causes related to the deficient functioning, below the minimal acceptable levels, of the new capacities based on coal, achieved during the '70s and '80s. In the conditions of an unjustified but exclussive orientation only towards this kind of thermo-power plants, is emphasised the continuous functioning by far below their capacity of the power plants Rovinari and Turceni, their power representing in 1987 half of the whole power of the plants working on coal.

Further are analysed: the negative aspects of the technical solution used for the two power plants, in contrast with the Işalnița power plant; the permanent degradation of the quality of the coal used for energy generation; the permanently longer time of putting into action the energetical investments. Finally, as one of the most important causes of the energy crisis, the author analyses the negative consequences of the manner in which the economic structures were concieved and developed, especially the industrial structures; in their framework were particularly favoured the most energy — intensive branches, big consumers not only of electric energy but also of high quality primary sources (of which the electrical energy was systematically deprived). Thus, for instance, only the ferrous and non-ferrous metallurgy and chemistry

* Ing. Victor Iancovici — specialist energetician

triei, producția lor reprezentînd însă mai puțin de o cincime din producția industrială totală.

În încheiere se încearcă schițarea cîtorva orientări și condiții necesare pentru lichidarea progresivă a crizei din domeniul energiei electrice. Într-o primă categorie se așază orientările care vizează reașezarea, în timp, a structurilor economice, acțiune ce corespunde, desigur, cu obiectivele mult mai cuprinzătoare ale redresării și creșterii economice în viitor. Ele trebuie să aibă drept rezultat principal diminuarea ponderii energiei electrice alocate industriei în consumul intern total, prin reducerea, în primul rînd, a ponderii subramurilor energointensive ale acesteia.

A doua categorie cuprinde orientări specifice energiei electrice, care implică însă decizii la nivel național. Între acestea se menționează : realizarea cît mai grabnică a unor capacități noi pe hidrocarburi (1200—1500 MW); realizarea unei a doua centrale nuclearoelectrice; asigurarea continuității importului de energie electrică; îmbunătățirea de fond a sistemului de salarizare în industria energiei electrice și în sectoarele de construcții-montaj aferente acesteia.

Într-o ultimă categorie sînt cuprinse unele orientări și măsuri a căror adaptare și realizare se așază în limita competențelor Ministerului Energiei Electrice.

have consumed more than half of the electrical energy alocated to industry their output representing only less than one -fifth of the gross industrial output.

Finally, the author tries to outline some orientations and conditions estimated as necessary for progressively putting an end to the electrical energy crisis. In a first category are included the orientation which — progressively in time — aim at a basic change of the economic structures, thus action acorresponding, of course, to the much wider targets aiming at the recovery and the growh of the economy in future. Their main result must be the reduction of the share of the electrical energy alocated to ndustry in the domestic consumption, by firstly diminishing the weight od its energy intensive branches.

A second category includes specifical orientations in the field of electrical energy, which imply decisions at a national level. Among these are mentioned : the construction, as soon as possile, of some new capacities beased on the utiiizatio ; as fuel, of hydrocarbons (oil and gas, 1200 —1500 MW) the construction of a second nuclear — power plant, the assuring of the continuity of the electrical energy inports ; the improvement of the wage system in the branch of the electrical energy a.s.o.

A last category includes some orientations and measures, for which the adoption and achievement are in the direct competence of the Ministry for the Electrical Energy.

În ultimii 15 ani țara noastră a fost confruntată cu o gravă criză energetică, ale cărei consecințe au afectat din ce în ce mai profund nu numai activitatea economică, dar și viața socială, practic în toate componentele ei, făcîndu-se simțită din plin și în prezent. Activitatea economică, în structura și la nivelurile prevăzute, a fost continuu dereglată prin lipsa — acută în multe cazuri — a unor resurse energetice de bază (gaze naturale, produse petroliere, cărbuni), precum și a energiei electrice. În ce privește viața socială, lipsa, în principal, a căldurii și a energiei electrice au afectat în mod inuman atît condițiile de trai ale unei părți foarte însemnate a populației, cît și desfășurarea normală a proceselor de învățămînt, a activității de ocrotire a sănătății, a manifestărilor din domeniul culturii și artei.

În același timp, lipsa de resurse energetice, în special sub formă de carburanți și de energie electrică, a determinat deteriorarea progresivă, pînă la niveluri inadmisibile, a altor funcționalități sociale de bază, cum sînt : transportul în comun, gospodăria comunală, iluminatul public etc.

Efectele pe plan social ale crizei energetice s-au materializat tragic, constituindu-se în unul dintre factorii principali care au dus la creșterea gravă a mortalității la noii-născuți și la grupele de vîrstă mai înaintată, la degradarea accentuată în timp a stării medii de sănătate a populației, la creșterea, în general, a morbidității. Prin consecințele sale sociale, lipsa sistematică și premeditată de resurse energetice alocate, o vreme îndelungată, populației și activității de ocrotire a sănătății, capătă semnificația unor autentice elemente de genocid, de mare extensie în timp, care au precedat evenimentele din a doua parte a lunii decembrie 1989, dar sînt datorate acelorași autori.

În perioada imediat următoare doborîrii dictaturii, au fost adoptate cu promptitudine măsuri pentru diminuarea, substanțială în anumite cazuri, a unora dintre efectele menționate în domeniul social. Măsurile luate s-au concretizat, în special, prin majorarea simțitoare a cantităților de energie electrică și gaze naturale alocate pentru consumul populației, însoțită de reducerea prețului acestora. Trebuie avut însă în vedere că aceste măsuri s-au realizat, practic în exclusivitate, prin redistribuirea resurselor existente, respectiv prin diminuarea cantităților alocate altor consumatori, îndeosebi industriei, acțiune la care se adaugă și aportul unor cantități de energie primită suplimentar din afară. Credem deci, cu atît mai mult, că pentru eliminarea progresivă în timp a consecințelor crizei energetice, ca parte integrantă a consecințelor profund negative pe care le-a avut, în toate domeniile, politica economică nefastă din timpul dictaturii, este necesară analiza lucidă, realistă, a cauzelor care au dus la lipsa de energie atît de grav resimțită în ultimii ani. O asemenea analiză constituie una dintre condițiile esențiale pentru stabilirea măsurilor de amploare, a strategiei economice de viitor, prin care să se realizeze echilibrul durabil între resursele și producțiile energetice efectiv disponibile din țară și din import și consumul judicios al acestora în activitățile economice și sociale.

În cele ce urmează, ne vom referi cu precădere la problemele energiei electrice, menționînd însă succint, acolo unde va fi necesar, modul în care acestea se articulează cu strategia generală privind disponibilitatea și utilizarea resurselor energetice primare, respectiv purtătorii de energie, pe baza cărora se realizează diversele forme de energie prelucrată.

I. În scopul evidențierii principalelor cauze care au generat marile dificultăți resimțite în ultimii ani în producerea și utilizarea energiei

electrice, considerăm necesară prezentarea cîtorva date sintetice, dar concludente pentru evoluţia situaţiei energetice în perioada 1975—1987 * şi pentru caracterizarea, în linii mari, a situaţiei existente şi în prezent (cu excepţia redresării, în oarecare măsură, a consumului casnic). Aceste date vor ilustra totodată, dar numai cu titlu exemplificativ, cele deja spuse cu privire la criza acută şi galopantă resimţită în ultimii 15 ani — în cadrul crizei energetice generale — şi în domeniul energiei electrice, precum şi cîteva dintre consecinţele grave ale acesteia asupra întregii activităţi economice şi sociale:

a) Deşi, potrivit politicii iraţionale de industrializare forţată, *în ultimii 15 ani s-au alocat pentru industrie (inclusiv cea a producerii energiei electrice) circa trei sferturi din cantitatea totală de energie electrică destinată consumului intern (75,4% în 1987)*, respectiv cu mult mai mult, ca pondere, decît în celelalte ţări europene, cerinţele industriei nu au fost corespunzător satisfăcute. Ca urmare, a fost necesară, în mod sistematic, stabilirea de cote situate sub nivelul cererii reale conform capacităţii instalaţiilor, precum şi efectuarea frecventă de limitări, programate şi neprevăzute, ale consumurilor, ceea ce a dus la dereglări, de multe ori grave, ale proceselor de producţie.

b) În acelaşi timp, în ultimii ani (pînă la începutul anului în curs) a căpătat un caracter permanent, tot ca o consecinţă directă a crizei energetice, *livrarea energiei electrice la o calitate din ce în ce mai proastă, concretizată prin furnizarea ei la o frecvenţă inadmisibil de scăzută*. Dacă, faţă de frecvenţa normală de 50 perioade pe secundă, cu cîteva decenii în urmă se considera ca situaţie de avarie funcţionarea cu 49 perioade, s-a ajuns în ultimii ani ca energia să fie livrată, pe durate îndelungate sau chiar continuu, la 47 perioade şi uneori mai puţin. Această situaţie a avut evident drept efect, între altele, diminuarea randamentelor — şi deci a eficienţei — tuturor proceselor de producţie în care se utilizează maşini electrice rotative, turaţia acestora, deci şi prestaţia utilă pe care o realizează, scăzînd odată cu frecvenţa de alimentare. Să adăugăm la aceasta, consecinţele grave pe care le are, în timp, funcţionarea cu frecvenţă redusă chiar asupra echipamentelor producătoare de energie din centralele electrice, care poate duce la avarierea acestora, diminuarea duratei lor de viaţă etc.

c) Datorită atît cantităţilor reduse de energie electrică produsă (faţă de capacitatea instalaţiilor existente, cum se va arăta mai jos), cît şi ponderii excesive a energiei alocate industriei, *au scăzut, an de an, cantităţile repartizate consumurilor sociale, situaţie care a determinat, şi pe această cale, degradarea continuă a condiţiilor de viaţă ale populaţiei*. Astfel, dacă în 1975 energia electrică alocată consumului casnic reprezenta 7,3% din consumul intern (România situîndu-se şi atunci, din acest punct de vedere, pe unul dintre ultimele locuri în Europa), în 1987 ponderea a scăzut la 6,1%, diminuînd în continuare în următorii 2 ani. Aceste cifre reflectă nu numai situaţia restrictivă atît de aspru resimţită în utilizarea casnică a energiei electrice, dar şi, în general, o pronunţată subdotare a populaţiei cu echipamente electrocasnice, ceea ce constituie, de asemenea, alături de multe altele, unul dintre simptomele expresive ale nivelului scăzut de trai.

În acelaşi timp, s-au consemnat ponderi deosebit de reduse — şi în continuă scădere — în consumul intern a cantităţilor de energie electrică alocată gospodăriei comunale (2,4% în 1965, 1,7% în 1987) şi iluminatului public (1,4% în 1965, 0,07% în 1987 !). Consecinţele acestor situaţii au fost, din nefericire, resimţite de întreaga populaţie, cel puţin sub forma transportului în comun urban (care foloseşte energia electrică) şi a iluminării arterelor de circulaţie. De altfel, tot datorită lipsei de energie, dar sub formă de carburanţi, nici transporturile în comun urbane şi interurbane cu autobuzele nu erau într-o situaţie mai bună. Pentru a ilustra desconsiderarea totală a cerinţelor elementare ale populaţiei în condiţiile efectelor practic nule ale unora dintre reducerile menţionate, merită să precizăm că, în ultimii ani, cantitatea de energie consumată într-un an, în întreaga ţară, pentru iluminatul public, reprezenta mai puţin decît o treime din consumul intern de energie electrică al unei singure zile !

d) În perioada 1975—1987 puterea electrică totală instalată în centralele Ministerului Energiei Electrice a sporit cu aproape 88%; în termocentrale, la care ne vom referi în mod deosebit avînd în vedere rolul lor decisiv în situaţia analizată, sporul a fost de 86%. În cadrul acestora, în centralele funcţionînd pe cărbuni, creşterea puterii instalate a fost însă de 182%, respectiv în 1987 s-a dispus de o putere de peste 2,8 ori mai mare decît în 1975.

În acelaşi interval (1975—1987), energia electrică produsă în centralele Ministerului Energiei Electrice a crescut cu numai 38% (faţă de 88% puterea instalată), în termocentrale sporul fiind de 40%. *Aceste creşteri modeste, disproporţionate în raport cu sporul puterii instalate, au fost determinate de creşterea cu numai 38,5 a energiei produse pe bază de cărbuni, faţă de creşterea de 2,8 ori a puterii totale a centralelor pe cărbuni*. Ţinînd seama de ponderea puternic crescătoare a acestora, este

* Pentru ultimii 2 ani nu am dispus de date cifrice complete, dar precizăm că situaţia energetică a devenit, în orice caz, încă mai gravă.

evident că producția lor redusă de energie a influențat nefavorabil creșterea totală a energiei produse în termocentrale, așa cum s-a arătat.

e) Ca rezultat firesc al celor prezentate, *utilizarea puterii totale instalate la sfîrșitul fiecărui an în centralele MEE a scăzut în perioada 1975—1987 cu peste 26%*, în termocentrale scăderea fiind de aproape 25%. În timp ce utilizarea puterii totale funcționînd pe hidrocarburi a crescut cu peste 6%, *utilizarea celei din centralele pe cărbuni (luînd în considerare energia produsă pe bază de cărbuni) a scăzut cu peste 50%*, deși în centralele respective s-au făcut investiții enorme, reprezentînd cea mai mare parte a investițiilor alocate centralelor termoelectrice.

Deoarece limităm prezenta analiză numai la aspectele principale ale lipsei de energie electrică, datele de mai sus nu s-au referit și la centralele hidroelectrice, ponderea acestora în totalul energiei produse fiind mult mai mică decît cea a centralelor termoelectrice (sub 16% în 1987 pentru centralele MEF). Menționăm totuși, fără a insista asupra acestei probleme, că utilizarea eficientă a centralelor hidroelectrice, în concordanță cu rolul lor în sistemul electroenergetic, a fost și ea influențată negativ de deficiențele grave care s-au manifestat — și persistă și acum — în funcționarea centralelor pe cărbuni.

II. În continuare, ne vom referi la unele cauze principale ale crizei acute resimțite în ultimii 15 ani în domeniul energiei electrice, ilustrată numai în parte prin cele arătate anterior. În acest sens, fără a emite pretenția de a epuiza acest subiect a cărui analiză poate fi evident adîncită, credem că merită să fie evidențiate următoarele:

1. Încă din etapa de început a realizării programului de electrificare s-a urmărit, în mod justificat, utilizarea cît mai largă a cărbunilor energetici din țară, prin realizarea de noi termocentrale care să folosească acest combustibil. De la execuția în anii '50 a termocentralelor Ovidiu II, Doicești (etapa I), Comănești, Paroșeni (etapa I), reprezentînd capacități importante pentru perioada respectivă, dar foarte mici față de dimensiunile actuale ale sistemului electroenergetic, s-a ajuns în deceniul următor la realizarea unor centrale pe cărbuni de capacități mult mai mari, respectiv cele de la Mintia și Ișalnița, executate pe baza unor soluții tehnice raționale și fiabile, inclusiv sub aspectul disponibilității — cantitativ și calitativ — a cărbunilor necesari. Au apărut totuși, chiar de la intrarea în funcțiune a primelor centrale, probleme, unele serioase, în aprovizionarea cu cărbuni, îndeosebi în ce privește calitatea acestora; puterea calorifică a ligniților s-a dovedit a fi inferioară față de cea prezumată, iar calitatea huilelor pentru care au fost proiectate centralele Paroșeni (dezvoltată cu o a doua etapă) și Mintia a fost și ea în descreștere, datorită, în mare măsură, alocării cu prioritate a huilelor de calitate pentru industria metalurgiei feroase, concepută și realizată (în special în ultimii 20 de ani) la dimensiuni total inadecvate economiei noastre. Cu toate aceste prime semnale de alarmă în ultima parte a anilor '60 și pînă la sfîrșitul funestei „epoci ceaușescu", s a intensificat în proporții excesive realizarea de noi centrale pe cărbuni inferiori, dezvoltarea producției de energie în centralele termoelectrice bazîndu-se, aproape în totalitate, pe utilizarea acestora. Între noile centrale *sînt preponderente cele de la Rovinari și Turceni (4 360 MW putere instalată, din care 4 030 MW în funcțiune)*, reprezentînd *în 1987 jumătate din totalul puterii instalate în centralele pe cărbuni și mai mult decît un sfert din puterea instalată în toate termocentralele aparținînd Ministerului Energiei Electrice*.

Aceste două termocentrale, cu o pondere atît de însemnată în totalul puterii instalate, funcționează însă, în mod permanent, cu mult sub capacitate, chiar în condițiile unui adaos de hidrocarburi situat continuu cu mult peste cel proiectat. Astfel, în 1987, centralele Rovinari și Turceni au produs numai 27% din totalul energiei electrice realizate pe bază de cărbuni, deși puterea lor cumulată reprezintă 50% din puterea totală a centralelor pe cărbuni. În același timp, centrala Ișalnița, a cărei putere instalată are o pondere de sub 13% în puterea totală a centralelor pe cărbuni, a produs aproape 26% din energia realizată de aceste centrale, adică, practic, cît Rovinari și Turceni la un loc, la o putere de aproape 4 ori mai redusă! Chiar în absența datelor din ultimii 2 ani, putem afirma că situația funcționării centralelor Rovinari și Turceni nu s-a îmbunătățit, ci este, în continuare, încă mai deficientă.

Realizarea, în aceeași perioadă la care ne referim, și a altor capacități pe cărbuni inferiori, precum și a unor amplificări de capacități existente, de proporții simțitor mai reduse față de Rovinari și Turceni, nu a fost urmată de rezultate mult mai bune, situația generală fiind expresiv ilustrată de datele deja prezentate privind creșterea cu totul disproporționat de redusă a producției pe bază de cărbuni, față de cea a puterii instalate în centralele respective.

Ținînd seama de greutatea pe care o au în sistemul electroenergetic național centralele pe cărbuni — și în mod particular cele de la Rovinari și Turceni — *considerăm că funcționarea defectuoasă a acestora, cu mult sub performanțele minim admisibile, și orientarea aproape exclusivă a dezvoltării capacităților noi de termocentrale numai pe cărbuni inferiori, constituie o*

primă cauză principală a crizei de energie electrică persistentă cronic în ultimii ani, inclusiv în prezent.

2. Alături de urmările negative pe care le-a avut în ultimii 20 ani absolutizarea nejustificată a folosirii cărbunilor inferiori în dezvoltarea capacităților energetice, credem că *a avut consecințe negative esențiale asupra funcționării centralelor Rovinari și Turceni și soluția tehnică adoptată, respectiv alimentarea grupurilor de 330 MW printr-un singur cazan de 1 035 tone abur/oră, spre deosebire de soluția folosită la centrala Işalnița, unde cele două grupuri similare sînt alimentate fiecare prin cîte două cazane de 525 tone abur/oră.* Soluția a doua oferă, evident, o mai mare flexibilitate și siguranță în funcționare și, ca urmare, o disponibilitate sporită a puterii instalate. Realizarea în 1987 de către centrala Işalnița, aflată în Oltenia și folosind, practic, aceiași cărbuni, a unui număr de ore de utilizare a puterii instalate de peste 2,5 ori mai mare decît centrala Rovinari și de aproape 5 ori mai mare decît centrala Turceni, deși este mult mai veche decît acestea, ne dispensează de alte comentarii.

Chiar dacă s-au prezentat, la vremea respectivă, argumente teoretic valabile, cu privire la caracterul mai economic al soluției cu un singur cazan pe grup și chiar dacă acum, adică după mai bine de 20 ani, există unele centrale bazate pe aceeași soluție și echipamente care funcționează bine, este tot atît de adevărat, din nefericire, că realizarea în țară, pentru prima dată, a cazanului de 1 035 tone abur/oră luat prin licență (dar încă nerealizat atunci de către licențiator !) s-a dovedit nefastă *. Asimilarea și fabricarea lui de către industria constructoare de mașini în ultimii 20 ani s-au realizat necorespunzător, consecințele resimțindu-se din plin și în prezent. Trebuie remarcat că semnalele grave de alarmă emise de funcționarea defectuoasă a primelor grupuri de 330 MW instalate la Rovinari și Turceni nu au fost luate în seamă, cu toate că în urmă cu mai bine de 10 ani, a fost discutată insistent modificarea soluției la ultimele grupuri de la Turceni, în sensul alimentării lor prin cîte două cazane, ceea ce se face în prezent, dar numai pentru ultimul dintre cele opt grupuri ale acestei centrale.

3. Așa cum rezultă din cele deja arătate, *degradarea continuă a calității cărbunilor energetici de toate categoriile, precum și livrarea lor, în mod permanent, în cantități insuficiente față de cerințele centralelor electrice, a constituit, de asemenea, o cauză semnificativă a funcționării proaste a acestora, deci și a crizei de energie electrică.* Să observăm, în plus, că și în extracția de cărbuni, ca și în toate celelalte domenii, regimul trecut și dictatorul personal au impus constant prevederea de niveluri total nerealiste, stabilite prin plan și considerate în balanțe, ceea ce a complicat încă mai mult asigurarea bazei materiale necesare producției de energie electrică.

4. Trebuie relevată, ca o cauză și ea semnificativă a situației pe care o analizăm, *prelungirea din ce în ce mai mare a duratei de realizare a investițiilor din domeniul energiei*, începînd de la stabilirea și aprobarea soluțiilor tehnice, trecînd prin întocmirea documentațiilor și sfîrșind, bineînțeles, cu execuția propriu-zisă a lucrărilor.

Ne vom opri asupra exemplului tipic pe care îl oferă realizarea primei centrale nucleroelectrice, despre care se discută „concret" din a doua jumătate a anilor '60 și a cărei punere în funcțiune nu se poate întrezări înainte de minimum 3 ani. Asta în timp ce încă în 1985, ponderea energiei nuclearoelectrice în totalul energiei electrice produse era, de exemplu, de 38% în Finlanda, 32% în Bulgaria, 24% în Spania, 15% în Cehoslovacia, pentru a nu ne referi la țări mai dezvoltate (Franța, Belgia etc.) unde ponderile sînt simțitor mai mari.

Evocînd întîrzierile din ce în ce mai simțite cu care s-au realizat punerile în funcțiune de noi centrale hidroelectrice, vom aminti că și în ce privește centralele pe cărbuni, atît de favorizate de regimul trecut, se constată o foarte mare încetinire a ritmurilor de execuție în ultimii ani, chiar și la lucrările începute. Astfel, citățm numai ca exemplu, în perioada 1976—1981 au intrat în funcțiune opt grupuri de 330 MW la Rovinari și Turceni, în timp ce în următorii 9 ani, la Turceni, s-au dat în funcțiune numai trei astfel de grupuri.

5. Ultima pe care o menționăm, dar una dintre cele mai importante cauze ale crizei de energie electrică, se așază în afara producției acesteia, fiind de un ordin mult mai general. Ea ține de *modul aberant în care au fost concepute și dezvoltate structurile economice, și în cadrul acestora, în particular, structurile industriei, cu implicații directe și profund negative asupra solicitării adresate producției de energie electrică a utilizării și distribuirii acesteia între principalele categorii de consumatori.* Implicații negative deosebit de grave, datorate aceleiași cauze, au existat, evident, și în ce privește alocarea resurselor energetice primare în rgeneal, determinînd un deficit cronic al acestora pe ansamblul economiei și în anumite sectoare în mod special, între care și producțiile de energie electrică și termică.

Avem în vedere, în primul rînd, următoarele aspecte, pe care ne mărginim să le enunțăm, ilustrîndu-le numai prin cîteva cifre :

a) Așa cum se știe, s-a practicat decenii în șir o politică de industrializare forțată, neeficientă și păgubitoare, ajungîndu-se ca, privind

* Ne referim în mod special la cazan, deoarece el a reprezentat elementul cel mai slab al blocului cazan-turbină-generator, fără a putea afirma că celelalte echipamente nu au provocat și ele dificultăți.

lucrurile numai sub aspect energetic, *industriei să-i fie destinate în ultimii ani peste 70% din totalul consumului intern de energie și, cum s-a mai arătat, mai mult decît 75% din cel de energie electrică.* Referindu-ne la resursele primare, precizăm că, în afara celor aferente energiei electrice consumate în industrie, restul de resurse alocate industriei se concretiza, în cea mai mare parte, sub formă de gaze naturale și produse petroliere, ceea ce a condus la lipsa permanentă a acestora în celelalte sectoare, inclusiv, în mod foarte pronunțat, în domeniul consumurilor sociale.

b) Cum de asemenea se știe, în cadrul industriei au fost puternic dezvoltate metalurgia și chimia, respectiv subramurile cele mai energointensive, deși era și este în continuare evident că economia românească, resursele naturale de care se dispune, nu permit creșterea concomitentă a celor două subramuri menționate, în proporțiile megalomane în care a fost prevăzută. În aceste condiții, *numai metalurgiei feroase și neferoase și chimiei le-a revenit mai mult decît jumătate din totalul energiei electrice consumate în industrie, subramurile respective realizînd însă, în 1989, mai puțin decît o cincime din producția industrială totală!* Să mai precizăm că în chimie se consumau cantități enorme de gaze naturale și de țiței, prelucrarea acestuia din urmă făcîndu-se în mod păgubitor pentru economie, peste limita impusă de eficiența economică. Aceasta în condițiile în care extracția de țiței a scăzut în ultimii 15 ani cu 35%, cea de gaze a diminuat în ultimii 4—5 ani cu peste 25%, România devenind mare importatoare de materii prime energetice (potrivit datelor Comisiei Naționale pentru Statistică, în 1988 ponderea importului în totalul resurselor energetice a fost de 35,1%, la țiței, de exemplu, importîndu-se 67,1% din cantitățile supuse prelucrării).

c) Cele arătate la punctele a) și b) constituie nu numai cauza principală a suprasolicitării producției de energie electrică în detrimentul, îndeosebi, al consumurilor sociale și al frecvenței cu care s-a funcționat mulți ani în trecut, dar și *elementul de bază care a determinat privarea industriei energiei electrice de cantitatea de hidrocarburi necesară unei funcționări normale, precum și dezvoltării echilibrate, sub aspectul combustibililor utilizați, a capacităților de producție.* Din această cauză, încălcîndu-se uneori și cele mai elementare condiții tehnice și de prudență, s-a absolutizat în ultimii 20 ani dezvoltarea, practic în exclusivitate, pe cărbuni inferiori, cu rezultatele cunoscute.

Trebuie arătat, totodată , că prevederile voluntariste, excesive, pentru dezvoltarea subramurilor la care ne-am referit au fost, în multe cazuri, vehement infirmate de realitate. Astfel, pentru a da un singur, dar foarte reprezentativ exemplu : încă din 1973, la conceperea planului cincinal 1976—1980, contrar tuturor considerațiilor de bun simț tehnic și economic, s-a prevăzut pentru anul 1980 realizarea a 16—18 milioane tone oțel, demarîndu-se și noile investiții necesare în acest scop, pentru ca în 1985, deci 5 ani mai tîrziu, să se fi realizat mai puțin de 14 milioane tone, cifră care a sporit foarte puțin pînă în prezent.

III. În cele ce urmează vom încerca să schițăm cîteva orientări și condiții care ni se par necesare pentru lichidarea progresivă a crizei energetice, în mod deosebit în domeniul energiei electrice. Ele reprezintă o modestă tentativă de stabilire a unor elemente de ordine, care să înlesnească gîndirea dezvoltării viitoare, fără a emite în nici un fel pretenția de a formula soluții și măsuri ferme, a căror adoptare trebuie să formeze, evident, obiectul unor studii și proiectări aprofundate, de amploare vastă.

1. Într-o primă categorie am așeza *orientările care vizează reașezarea, progresivă în timp, a structurilor economice și în particular a structurilor industriei.* Aceste orientări corespund desigur, unor obiective mult mai largi sub aspectul redresării și creșterii economice în viitorul apropiat și mai îndepărtat. Ele au însă un impact energetic esențial, urmărindu-se, din acest punct de vedere, în principal :

— diminuarea substanțială a cantităților de energie primară și electrică alocate industriei, astfel încît să se reducă în aceeași proporție presiunea nesuportabilă — așa cum s-a dovedit cu prisosință în trecut — pe care industria a exercitat-o asupra tuturor categoriilor de resurse și producții energetice ;

— reducerea progresivă, în acest scop, a ponderii pe care o au în cadrul industriei subramurile de mare energointensivitate, în primul rînd metalurgia și chimia care, așa cum s-a văzut, au absorbit mai mult decît o jumătate din totalul energiei electrice consumate în industrie. Desigur, mutațiile structurale pe care le implică o astfel de reducere nu se pot realiza decît în timp și în cadrul unui program amplu de convertire, care implică și alte probleme economice majore. Credem însă că ele sînt absolut obligatorii deoarece, în condițiile structurilor actuale și cu o dezvoltare industrială inerțială sau numai ușor amendată față de trecut, nu pot fi concepute soluții energetice realiste pentru viitor, ținînd seama de resursele primare de care se poate dispune, din țară și din import ;

— disponibilizarea pentru uzul producției de energie electrică a resurselor primare strict necesare (în primul rînd hidrocarburi) pentru funcționarea normală și sigură a sistemului electroenergetic național, resurse de care acesta a fost ani de zile lipsit deoarece ele au fost destinate cu precădere industriei și exportului (ca produse petroliere, exportate în mod păgubitor pentru economia națională). Deoarece chiar și o schiță prealabilă a balanței energiei

primare arată cu certitudine că resursele din țară nu sînt suficiente nici acum și nici în viitor pentru acoperirea cerințelor justificate ale producției de energie electrică, vor trebui asigurate din import, cu caracter continuu și stabil, resursele deficitare. În acest sens este desigur necesar să fie studiate temeinic și din timp toate elementele pe baza cărora se vor determina natura și cantitățile resurselor ce urmează a se importa, ținîndu-se seama de eficiența economică a importurilor, de condițiile de transport etc. Din anumite analize făcute, în ale căror detalii nu este cazul să intrăm acum, credem că merită să fie examinate cu prioritate importurile posibile de păcură și huile energetice de bună calitate.

Așa cum am precizat, orientările de felul celor de mai sus se articulează cu cerințele pe care le reclamă, în general, proiectarea pe baze realiste a creșterii economice în viitor. Într-adevăr, multe dintre producțiile energointensive sînt totodată și cele mai capital-intensive, respectiv mari consumatoare de investiții, fiind caracterizate însă printr-o eficiență redusă sau mediocră a fondurilor fixe pe care le folosesc.

2. Într-o a doua categorie, credem că se pot așeza *orientările specifice energiei electrice, care trebuie adoptate însă la nivel național, integrîndu-se în ansamblul orientărilor și măsurilor care vor sta la baza dezvoltării economiei și societății noastre în perioada imediat următoare și în viitor*. Între acestea menționăm cîteva:

— Realizarea cît mai grabnică și pe căile care asigură cele mai scurte termene de execuție și obținere a echipamentelor (inclusiv din import), a unor capacități suplimentare de producție pe hidrocarburi, de ordinul a 1 200—1 500 MW, fie prin realizarea unor capacități noi, fie prin dezvoltări de capacități existente, sau prin folosirea ambelor căi.

— Prevederea din timp a unei a doua centrale nuclearoelectrice, cu precizarea cît mai urgentă și riguros fundamentată a opțiunilor de bază și a măsurilor ce trebuie adoptate imediat în acest scop.

— Asigurarea cu certitudine a continuității importului de energie electrică, pentru menținerea echilibrului balanței în condițiile satisfacerii consumurilor efectiv necesare tuturor sectoarelor economice și sociale, la nivelul real al cerințelor acestora.

— Îmbunătățirea de fond a sistemului de salarizare în industria energiei electrice, precum și în sectoarele de construcții-montaj aferente acesteia, astfel încît să se obțină stimularea reală (și nu numai creșterea salariilor) a întregului personal, din toate compartimentele de exploatare și întreținere energetică, inclusiv accelerarea execuției investițiilor la o calitate superioară celei din trecut.

3. În fine, am grupa într-o a treia categorie, *orientările și măsurile care pot fi adoptate și aplicate în cadrul sistemului organizatoric al Ministerului Energiei Electrice și în limitele competențelor acestuia*. Ne referim la astfel de măsuri cum sînt: îmbunătățirea substanțială a exploatării în unele centrale; ameliorarea calității reparațiilor, ca una dintre problemele acute în prezent; aducerea la parametri mai apropiați de cei proiectați a unor grupuri fiabile dar slab utilizate; menținerea fermă a frecvenței în limite normale, așa cum a reușit să o facă actuala conducere a ministerului; accelerarea execuției unor investiții de mare importanță și multe altele, pentru a căror stabilire conducerea ministerului și aparatul tehnic al acestuia sînt fără îndoială cu mult mai competenți decît oricine din afară.

Precizăm încă o dată, că sugestiile cuprinse în partea finală a prezentei analize au numai semnificația unei modeste încercări de ordonare a cîtorva idei pe care le socotim importante, dar rămîn supuse oricărei discuții, fără a se emite, sub nici o formă, pretenția de a se fi formulat soluții ferme.

(Primit la 20 martie 1990, acceptat la 1 iunie 1990)

Un model pentru calculul fiabilității în cazul rezervării pasive „în stoc" (RS) a echipamentelor reparabile

Ing. MANFRED STEIN, ing. CHRISTIANA BĂRBULESCU, ing. ADELA CIUPULIGA*

Descriptori : fiabilitate, rezervare pasivă, reparații

Creșterea disponibilității unităților energetice constituie în prezent o preocupare permanentă a energeticienilor. Una dintre metodele eficiente aplicabile în acest scop este și rezervarea pasivă a echipamentelor din instalațiile energetice.

In lucrare se prezintă un model de calcul al eficienței rezervării pasive, conceput astfel încît să poată fi aplicat de un cerc larg de specialiști din exploatare sau proiectare, fără a fi necesară o pregătire specială în domeniul calculelor statistico-probabilistice, rezultatele obținute fiind de o precizie corespunzătoare pentru cazurile practice întîlnite în cadrul centralelor și stațiilor electrice.

Availability increase constitutes a present constant concern of energy workers. One of the efficient method appliable to this purpose is the passive stock storage of power equipment.

The paper presents a passive stock efficiency calculation model conceived thus, as to be operable by a large circle of operation of desing experts, not needing a special training in the field of probabilistic statistic calculations. The results obtained are quite accurate for the practical cases occured within power stations and transformer substantions.

Introducere

Este cunoscută importanța deosebită care se acordă în prezent creșterii disponibilității instalațiilor energetice, în special a centralelor electrice.

Din numeroase analize efectuate privind mijloacele cele mai eficace pentru creșterea fiabilității instalațiilor și dispozitivelor componente ale instalațiilor energetice a rezultat în mod evident că un mijloc important constă în reducerea duratelor de staționare în avarie a echipamentului.

În cazul existenței în obiectivele energetice a unor stocuri corect dimensionate de echipamente și piese de rezervă, un număr, justificat tehnico-economic, de staționări în avarie cu durate de reparații va putea fi redus la durate de staționări scurte, necesare înlocuirii echipamentului avariat cu unul în rezervă.

Se obține astfel o creștere substanțială a disponibilității în condiții, așa cum arată calculele — economice foarte avantajoase.

Din motivele arătate, conducerea exploatării obiectivelor energetice manifestă în ultimul timp un interes deosebit față de acțiunile de optimizare a stocurilor de piese și echipamente de rezervă.

Pe cînd, în cazul pieselor de rezervă nereparabile modelele de calcul pentru dimensionarea stocurilor necesare sînt relativ simple, în cazul echipamentelor reparabile problemele se complică considerabil.

Din motivele mai sus arătate s-a resimțit necesitatea realizării unui sistem de calcul (model) care să fie cît mai simplu, accesibil unui larg cerc de specialiști și totodată să conducă la rezultate avînd precizia necesară.

În paragrafele următoare se va prezenta un model pentru calculul fiabilității echipamentelor din instalațiile energetice, în condițiile în care acestea beneficiază de un stoc de echipamente de rezervă, echipamentele fiind reparabile.

1. Model de calcul al indicatorilor de fiabilitate ai echipamentelor în condițiile rezervării pasive

În prezent singura pisibilitate de modelare a comportării sistemului — elemente rezervate reparabile și elemente de rezervă „în stoc" (RS) — constă în scrierea matricelor „qij" de trecere prin diferitele stări în care evoluează sistemul, care, chiar pentru un număr redus de elemente de bază și de rezervă, sînt foarte multe [1].

Pentru sisteme mari, și în special, în cazurile în care duratele de înlocuire a echipamentelor de bază cu cele în rezervă nu pot fi neglijate în raport cu duratele medii ale unei reparații de echipament, această operație de scriere corectă a matricei „qij" devine extrem de dificilă chiar pentru specialiști în asemenea calcule.

În modelul nou descris se pornește de la premisa că un element oarecare, făcînd parte dintr-o mulțime „S" de elemente reparabile și avînd parametrii de fiabilitate inițiali „λ_0 și μ_0" poate fi reprezentat, în cazul rezervării sale pasive, prin două elemente fictive legate în serie, din care unul va avea intensitatea de defect „$\lambda_0 P_R$" și celălalt intensitatea de defect „$\lambda_0 Q_R$", respectiv o intensitate de restabilire

* Ing. Manfred Stein, ing. Christiana Bărbulescu, ing. Adela Ciupuliga — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

„λ" și „γ" (fig. 1). S-a notat cu : ν — inversul unei durate de înlocuire a echipamentului defectat cu unul de rezervă $\left(\nu = \frac{1}{t_{înl.}}\right)$;

— γ — inversul duratei necesare pentru restabilirea funcționării unui echipament defectat printr-o reparație în atelier, urmată apoi de înlocuire (nu se consideră fiind neglijabile defectele care nu necesită reparații în atelier);

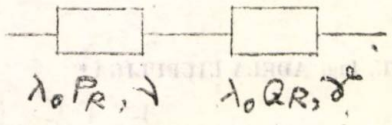


Fig. 1

— P_R, Q_R — probabilitățile de răspuns și de nerăspuns ale rezervei, adică probabilitatea existenței sau inexistenței unui echipament de rezervă în bună stare, în momentul solicitării lui din cauza defectării unui echipament de bază.

Numeric probabilitatea de răspuns P_R este egală cu raportul între numărul de solicitări la care există o rezervă disponibilă și numărul total de solicitări. Evident că $Q_R = 1 - P_R$.

Cu aceste notații schema din figura 1 va avea următorii indicatori echivalenți, determinați cu relațiile cunoscute pentru scheme „serie' [1]:

$$\lambda_R = \sum \lambda = \lambda_0 P_R + \lambda_0 Q_R = \lambda_0 (P_R + Q_R) = \lambda_0, \tag{1}$$

$$\mu_R = \frac{\sum \lambda}{\frac{\lambda_0 P_R}{\nu} + \frac{\lambda_0 Q_R}{\gamma}} = \frac{\lambda_0}{\frac{\lambda_0 P_R}{\nu} + \frac{\lambda_0 Q_R}{\gamma}}. \tag{2}$$

Acești doi indicatori (λ_R, μ_R) vor caracteriza deci un echipament rezervat. Se observă, cum era și evident, că intensitatea de defectare λ_0 a elementului rezervat nu este influențată de rezervare, aceasta influențînd numai intensitatea de restabilire (adică durata de restabilire).

Expresia pentru „γ" se stabilește pornind de la cele spuse anterior că restabilirea funcționării unui echipament defectat căruia rezerva nu i-a „răspuns" se face după un timp egal cu durata în care cel puțin unul dintre elementele aflate în reparație s-a reparat și după aceea acest element reparat a înlocuit elementul defect. Astfel „γ" reprezentînd inversul duratei de restabilire în acest caz va fi :

$$\gamma = \frac{1}{\frac{t_{reparație}}{R+1} + t_{înloc}} = \frac{(R+1)\,\mu_0 \nu}{\nu + (R+1)\,\mu_0}, \tag{3}$$

în care : $R = N - S$ este numărul de echipamente de rezervă „în stoc";
N — numărul total de echipamente;
S — numărul de echipamente rezervate.

(Termenul $R + 1$ rezultă din faptul că se consideră că fiecare dintre elementele defecte intră imediat în reparație și deci durata pînă la terminarea reparației cel puțin a unui element, este invers proporțională cu numărul lor. La numărul lor R, se adaugă unitatea, deoarece în reparație se găsesc simultan atît cele R elemente de rezervă, cît și elementul care s-a defectat) (vezi [1]).

Probabilitatea de nerăspuns a rezervei Q_R se determină cu relația :

$$Q_R = \frac{p_{R,S} \frac{\lambda_e}{S} T}{p_{R,S}\, \lambda_0\, T} = \frac{\lambda_e}{S \lambda_0}, \tag{4}$$

în care :

$p_{R,S}$ este probabilitatea de funcționare a unui element din cele S elemente rezervate prin R elemente de rezervă;

T — timpul de referință;

λ_l/S — intensitatea de defect echivalentă pentru unul dintre cele „S" elemente rezervate considerate a fi conectate în serie, ținînd cont că elementele sînt rezervate pasiv de „R" elemente.

Această intensitate este calculată în ipoteza că elementele de rezervă „în stoc" nu se defectează în această stare și se referă la defectele urmate de reparație $\left(\text{adică } \frac{1}{\frac{\lambda_e}{S}} \text{ este durata de funcționare a unui element al sistemului serie „}S\text{" pînă la un defect urmat de reparație, cu alte cuvinte durata de funcționare pînă la un defect } \textit{fără solicitare a rezervei}\right)$.

Termenul de la numitor reprezintă în schimb numărul total de defecte ale unui element din cele „S".

În stabilirea relației pentru Q_R se admite o aproximare care constă în faptul că se neglijează defectările care se pot produce în condiția în care, după ce unul dintre elementele din „S" s-a defectat și nu a avut o rezervă disponibilă, pe durata indisponibilității rezervei, se mai defectează și un alt element din cele $(S-1)$, căruia de asemenea rezerva nu-i „răspunde" și așa mai departe.

Se poate însă afirma că, cel puțin pentru valorile uzuale ale parametrilor de fiabilitate pentru echipamentele energetice, această aproximare este absolut admisibilă [2], deoarece chiar în calculele de fiabilitate pentru schemele tehnologice se admite a nu se lua în considerare defectele multiple. În acest caz eroarea admisă va fi însă și mai redusă, deoarece durata la dispoziție pentru producerea unui al doilea defect, pe durata restabilirii primului, va fi considerabil mai mică decît în cazul primului defect (se repară un element în plus), iar, pe de altă parte, numărul de solicitări va scădea, deoarece acesta se produce dintr-o mulțime $(S-1)$ în loc de S.

Numeroase calcule efectuate pentru instalații energetice concrete au demonstrat că această ipoteză este absolut admisibilă în calculul indicatorilor echipamentelor rezervate conform principiului mai sus enunțat, cînd numărul de echipamente nu depășește valorile uzuale dintr-o instalație.

În conformitate cu premisa menționată înainte, că pe durata în care echipamentele se găsesc în rezervă „în stoc" ele nu se defectează (nefiind solicitate), relația pentru $\frac{\lambda_e}{S}$ este :

$$\frac{\lambda_e}{S} = \frac{\lambda_0}{\sum_{i=0}^{R} \frac{R!}{i!(R-i)!} \frac{i!}{\left(S\frac{\lambda_0}{\mu_0}\right)^i}} \quad [3] \qquad (5)$$

Revenind la expresia (2) pentru „μ_R" în care se înlocuiește P_R cu $1 - Q_R$ și ținînd seama de expresia (3) pentru „γ" se obține în final :

$$\mu_R = \frac{\lambda_0}{\frac{\lambda_0}{\nu} + \frac{\lambda_e}{S\mu(R+1)}} \qquad (6)$$

pentru cazul în care durata de înlocuire este neglijabilă, adică $\nu = \frac{1}{t_{înloc}} \to \infty$,

$$\mu_R = \frac{\lambda_0 \cdot S\mu(R+1)}{\lambda_e}. \qquad (6')$$

Cunoscînd acum cei doi parametri ai echipamentelor în condițiile rezervării $\lambda_R = \lambda_0$ și μ_R, poate fi calculată și probabilitatea de bună funcționare a acestor echipamente

$$p_R = \frac{\mu_R}{\lambda_0 + \mu_R} = \frac{1}{\frac{\lambda_0}{\mu_R} + 1}; \qquad (7)$$

μ_R și p_R sînt respectiv intensitățile de reparare și probabilitatea de succes în condițiile de rezervare.

Cu acești noi parametri calculele de fiabilitate ale instalației se fac în conformitate cu modelele cunoscute, ținînd seama de condițiile de funcționare ale echipamentelor în cadrul acestor instalații [1].

În paragraful următor se prezintă unele exemplificări ale calculului.

3. Exemple de aplicare modelului

Exemplul 1

Fie un nod tehnologic dintr-o centrală electrică format din două electropompe, fiecare avînd un debit de 50%.

În centrală există în total șase asemenea noduri, deci 12 electropompe de același tip. Numărul de rezerve „în stoc" al acestor echipamente este 2 (deci $N = 14$, $S = 12$, $R = 2$). Indicatorii de fiabilitate ai unui agregat sînt :

$$\lambda_0 = 1 \text{ an}^{-1}$$

$$\mu_0 = 10 \text{ an}^{-1}$$

$$\nu = 100 \text{ an}^{-1}$$

Să se calculeze :

— cîștigul de probabilitate de succes pe fiecare (oricare) nod tehnologic în condițiile de rezervare de mai sus față de lipsa acestor rezerve.

Rezolvare

Se determină mai întîi $\frac{\lambda_0}{S}$ conform relației (5) pentru $R = 2$, $S = 12$:

$$\frac{\lambda_e}{S} = \frac{1}{\frac{2!}{0!\,2!}\cdot\frac{0!}{1} + \frac{2!}{1!\cdot 1!}\cdot\frac{1!}{\left(12\cdot\frac{1}{10}\right)} + \frac{2!}{2!\,0!}\cdot\frac{2!}{\left(12\cdot\frac{1}{10}\right)^2}} = 0{,}2466$$

Intensitatea de restabilire (conform 6)

$$\mu_R = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0{,}2466}{10\cdot 3}} = 54{,}88 \text{ an}^{-1}$$

Probabilitatea de succes (conform 7)

$$p_R = \frac{1}{\frac{1}{54{,}88} + 1} = 0{,}982$$

probabilitatea de succes inițială (în lipsa rezervării) :

$$p_0 = \frac{1}{\frac{\lambda_0}{\mu_0} + 1} = 0{,}910.$$

Deoarece capacitatea de funcționare a fiecărei pompe este de 50%, starea de succes a nodului pentru 100% din debit va fi constituită de funcționarea ambelor pompe. Starea de succes, debit mai mare sau egal cu 50%, va fi constituită din starea în care funcționează cel puțin una dintre pompe.

În cazul în care aceste tipuri de agregate nu ar fi rezervate, stările respective de succes vor fi:

$$p_{succes\ 100\%} = 0{,}91^2 = 0{,}828$$

$$p_{succes\ >50\%} = 0{,}91^2 + 2 \times 0{,}91 \times 0{,}09 = 0{,}9918.$$

Cîştigul de probabilitate de succes obţinut deci prin rezervare va fi:

$$\Delta p_{succes\ 100\%} = 0{,}9632 - 0{,}828 = 0{,}1352$$

$$\Delta p_{succes\ >50\%} = 0{,}9997 - 0{,}9918 = 0{,}0079$$

Deci, cu cît nivelul de rezervare prin schemă (RS) este mai ridicat, cîştigul de probabilitate scade. În cazul de faţă nivelul de rezervare faţă de starea de succes 100% din debit este determinat de condiţia 2/2 (două din două), iar faţă de starea de succes $\geq$ 50% din debit este determinat de condiţia 1/2 (una din două). Această concluzie este foarte importantă pentru optimizarea stocurilor cu echipamente de rezervă.

Exemplu 2

Fie o staţie de transformare 220/120 kV echipată cu un autotransformator (AT) compus din trei unităţi monofazate. În staţie este prevăzută şi o fază de rezervă (în stoc). Să se calculeze probabilitatea de succes în funcţionarea AT (trei faze în funcţiune) în aceste condiţii de rezervare, atît cu metoda scrierii matricei de trecere (Markov), cît şi cu modelul nou prezentat la pct. 2

Indicatorii de fiabilitate ai unei faze sînt: „λ" şi „μ", iar intensitatea de înlocuire „ν".

NOTĂ: Se stabileşte ipoteza că în caz de defect al unor faze de AT nu se poate repara decît o singură fază defectă.

Rezolvare

A. Cu ajutorul scrierii matricelor de trecere

Stările prin care poate să evolueze sistemul considerat sînt prezentate în figura 2.
Matricea de treceri rezultă astfel [1]:

$$\begin{array}{c|cccc|c} & p_0 & p_1 & p_2 & p_3 & \\ \hline & -3\lambda & 3\lambda & 0 & 0 & p_0 \\ & 0 & -\nu & \nu & 0 & p_1 \\ & \mu & 0 & (-3\lambda+\mu) & 3\lambda & p_2 \\ & 0 & \mu & 0 & -\lambda & p_3 \end{array} = 0$$

Din matrice rezultă ecuaţiile:

$$\begin{cases} 3\lambda p_0 = \mu p_2 \\ \nu p_1 = (3\lambda + \mu) p_2 \\ 3\lambda p_2 = \mu p_3 \\ p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1 \end{cases}$$

În urma realizării acestui sistem de ecuaţii se obţine:

$$p_0 = \frac{\nu\mu^2}{\nu(\mu^2 + 3\lambda\mu + S\lambda^2) + 3\lambda\mu(3\lambda + \mu)}$$

$$p_1 = \frac{S\lambda^2 + 3\lambda\mu}{\nu\mu} p_0$$

$$p_2 = \frac{3\lambda}{\mu} p_0$$

$$p_3 = \frac{9\lambda^2}{\mu^2} p_0$$

Din figura 2 rezultă că stări de succes constituie stările p_0 şi p_2, deci:

$$p_R = p_0 + \frac{3\lambda}{\mu} p_0 = p_0 \left(1 + \frac{3\lambda}{\mu}\right) =$$

$$= \frac{(3\lambda + \mu)\mu\nu}{9\lambda^2(\nu + \mu) + 3\lambda\mu(\nu + 3\mu^2) + \nu\mu^2} =$$

$$= \frac{\nu\mu(3\lambda + \mu)}{3\lambda(\mu + \nu)(3\lambda + \mu) + \nu\mu^2}$$

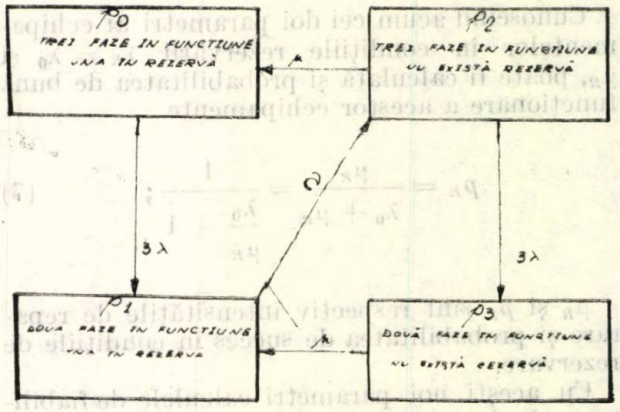


Fig. 2

B. Cu ajutorul modelului prezentat în paragraful 2:
$N = 4$; $S = 3$; $R = 1$

$$\frac{\lambda_e}{S} = \frac{\lambda}{1 + \frac{\mu}{3\lambda}} = \frac{3\lambda^2}{3\lambda + \mu}$$

$$\mu_R = \frac{\lambda}{\frac{\lambda}{\nu} + \frac{3\lambda^2}{(3\lambda + \mu)\mu}} = \frac{1}{\frac{1}{\nu} + \frac{3\lambda}{(3\lambda + \mu)\mu}}$$

(termenul $R+1$ s-a înlocuit cu μ conform „Notei" din enunțul temei).

Deoarece AT este în stare de succes numai dacă există trei faze în funcțiune sistemul este un sistem serie (fig. 3).

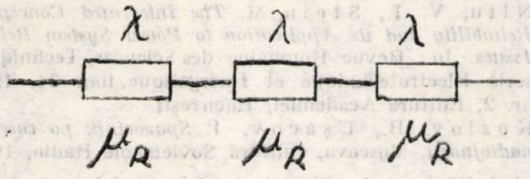


Fig. 3

deci :

$$p_R = \frac{\mu_R}{\mu_R + 3\lambda} = \frac{1}{1 + \frac{3\lambda}{\mu_R}}$$

$$p_R = \frac{1}{1 + \frac{3\lambda[3\lambda\mu + \mu^2 + 3\lambda\nu]}{\mu\nu(3\lambda + \mu)}} =$$

$$= \frac{\nu\lambda(3\lambda + \mu)}{3\lambda(\mu + \nu)(3\lambda + \mu) + \nu\mu^2},$$

adică identic cu primul rezultat.

(Obținerea în acest exemplu a unor rezultate perfect identice prin cele două metode de calcul se datorează faptului, că din starea în care o fază a AT este indisponibilă acesta este scos din funcțiune și deci nu se mai pot produce alte defecte multiple).

Acest exemplu ilustrează destul de convingător faptul că în cazul unor sisteme cu multe elemente rezervate și multe rezerve „în stoc" scrierea tuturor stărilor prin care poate trece sistemul devine foarte greu accesibilă personalului care nu este specializat în calcule statistico-probabilistice, iar rezolvarea matricelor în nici un caz nu se poate fără utilizarea unor sisteme de calcul automat. (Astfel, de exemplu, dacă cele trei faze ale AT ar constitui unități care pot funcționa separat matricea de mai sus ar avea un număr mai mare de coloane și linii și ar prezenta mari dificultăți în completare).

Concluzii

a) Rezervarea pasivă „în stoc" este unul din mijloacele cele mai eficiente de mărire a disponibilității instalațiilor. De aceea mijloacele de calcul necesare optimizării acestor stocuri trebuie astfel concepute încît să fie la îndemîna unui cerc cît mai larg de specialiști și chiar nespecializați în calcule de fiabilitate.

b) Calculele de echivalare ale unor sisteme conținînd rezerve tehnologice (RT) sau/și rezerve „în stoc" (RS) pot deveni extrem de complicate dacă numărul de elemente asupra cărora se efectuează calculul este mare și mai ales în cazurile în care premisa $\frac{\mu}{\nu} \to o$ nu poate fi acceptată.

c) În lucrare se prezintă un model de calcul care tinde să simplifice calculele pentru cazurile întîlnite în practică, scoțind în evidență și domeniile în care diferite relații prezentate pot fi utilizate în vederea obținerii unor rezultate cu totul satisfăcătoare.

d) Relațiile prezentate pentru calculul indicatorilor echivalenți sînt valabile pentru cazul în care numărul de reparații simultane ale unor echipamente defectate nu este limitat, adică toate echipamentele care s-au defectat intră imediat în reparație. După cum rezultă însă din exemplul (2) elé pot fi adaptate foarte ușor și altor strategii de reparație.

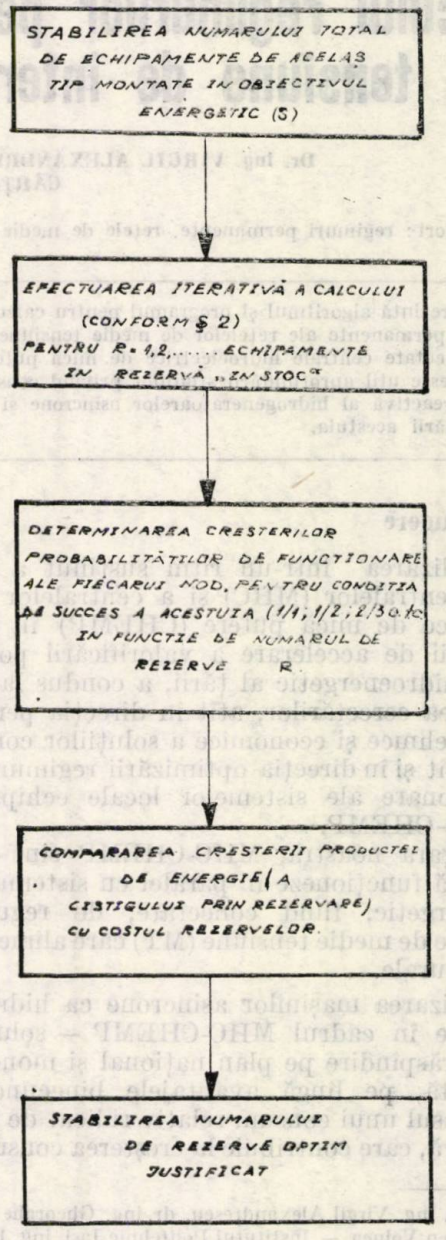


Fig. 4

e) În calculele de optimizare a stocurilor de echipamente de rezervă trebuie totdeauna ținut seama de nivelul de rezervare prin schemă a echipamentelor, deoarece aceasta influențează în mod considerabil rezultatul (vezi exemplul 1).

În figura 4 este redată o schemă logică după care se determină indicatorii de fiabilitate (virtuali) și modul de optimizare a nivelului de rezervare, în condițiile în care se beneficiază de rezervare „în stoc".

Bibliografie

[1] Stein, M., Diaconu, St., Iancovici, P., Vâlcereanu, A. *PE 013/84. Normativ privind metodele și elementele de calcul al siguranței în funcționare a instalațiilor energetice*, ICEMENERG, 1984.

[2] Nitu, V. I., Stein, M. *The Integrated Concept of Reliability and its Application to Power System Related Issues*. In: Revue Roumaine des Sciences Techniques, seria Electrotechnique et Energetique, tom 34, 1989, nr. 2, Editura Academiei, București.

[3] Kozlov, B., Uşacov, I. *Spavocinik po rasciotu nadiojnosti*. Moscova, Editura Sovietskoie Radio, 1975.

(Primit la 15 ianuarie 1990, acceptat la 14 februarie 1990)

Calculul regimurilor permanente ale rețelelor de medie tensiune de interconexiune ale MHC—CHEMP

Dr. ing. VIRGIL ALEXANDRESCU, ing. ROMULUS SFICHI, dr. ing. GHEORGHE CÂRȚINĂ, ing. EUGEN VOINEA*

Descriptori: regimuri permanente, rețele de medie tensiune, centrale hidroelectrice de mică putere

Se prezintă algoritmul și programul pentru calculul regimurilor permanente ale rețelelor de medie tensiune, la care sînt conectate centrale hidroelectrice de mică putere. Programul este util aprofundării studiilor privind consumul de putere reactivă al hidrogeneratoarelor asincrone și efectele compensării acestuia.

The algoritm and program for the calculation of permanent regimes of medium voltage grids supplied by microhydropower plants are presented. The program is useful for extensive studies concernind reactive power consumption of asynchronous hydrogenerators and effects of its compensation.

Introducere

Realizarea într-un ritm susținut a microhidrocentralelor (MHC) și a centralelor hidroelectrice de mică putere (CHEMP) în cadrul acțiunii de accelerare a valorificării potențialului hidroenergetic al țării, a condus la intensificarea cercetărilor, atît în direcția perfecționării tehnice și economice a soluțiilor constructive, cît și în direcția optimizării regimurilor de funcționare ale sistemelor locale echipate cu MHC—CHEMP.

În țara noastră, MHC-CHEMP sînt concepute să funcționeze în paralel cu sistemul electroenergetic, fiind conectate, de regulă, la rețelele de medie tensiune (MT) care alimentează zone rurale.

Utilizarea mașinilor asincrone ca hidrogeneratoare în cadrul MHC-CHEMP — soluție de largă răspîndire pe plan național și mondial — prezintă, pe lîngă avantajele binecunoscute, neajunsul unui consum relativ ridicat de putere reactivă, care contribuie la creșterea consumului propriu tehnologic în rețeaua sistemului. Din acest motiv, compensarea factorului de putere al generatorului asincron (GAS) din MHC—CHEMP constituie în prezent o problemă de interes deosebit.

Stabilirea nivelului optim de compensare a puterii reactive în rețelele de distribuție de medie tensiune, în care funcționează interconectat MHC—CHEMP, necesită în primul rînd aprofundarea problemei consumului de putere reactivă a GAS în diverse regimuri de funcționare. Studiile teoretice, confirmate de practica exploatării, pun în evidență faptul că o serie de factori, cum sînt: valoarea coeficientului de încărcare a GAS ($k = P/P_n$), abaterile de durată ale valorii efective a tensiunii de alimentare și ale frecvenței sistemului, față de valorile nominale, au o influență sensibilă asupra puterii reactive absorbite de mașinile asincrone [2, 3].

Plecînd de la necesitatea unei fundamentări mai riguroase a consumului de putere reactivă a GAS, ținînd seama de factorii menționați mai sus, a fost elaborat un algoritm și programul de calcul corespunzător pentru analiza regimurilor permanente ale rețelelor de MT la care sînt conectate MHC—CHEMP. Programul este

* Dr. ing. Virgil Alexandrescu, dr. ing. Gheorghe Cârțină, ing. Eugen Voinea — Institutul Politehnic Iași, ing. Romulus Sfichi — IRE Suceava.

util atît la elaborarea studiilor privind consumul de putere reactivă şi efectele compensării acestuia, cît şi în studiul dezvoltării reţelei în condiţiile conectării unor noi CHEMP sau încadrării în perspectivă a CHEMP echipate cu generatoare sincrone (GS).

1. Algoritmul de calcul

Organigrama dată în figura 1 reprezintă o descriere succintă a algoritmului de calcul. Reţeaua de medie tensiune analizată are o structură arborescentă cunoscută. Nodurile reţelei se clasifică în următoarele tipuri:

— nodul de alimentare (de echilibru);

— noduri de tip consumator, la care sînt racordate posturile de transformare (PT) ale consumatorilor;

— noduri de tip generator, legate la PT prin care MHC—CHEMP debitează în reţea energia activă produsă;

— noduri de conexiune, la care nu sînt conectate PT.

Barele de joasă tensiune ale PT nu se evidenţiază ca noduri distincte.

Datele de intrare necesare calculului de regim se grupează în următoarele categorii:

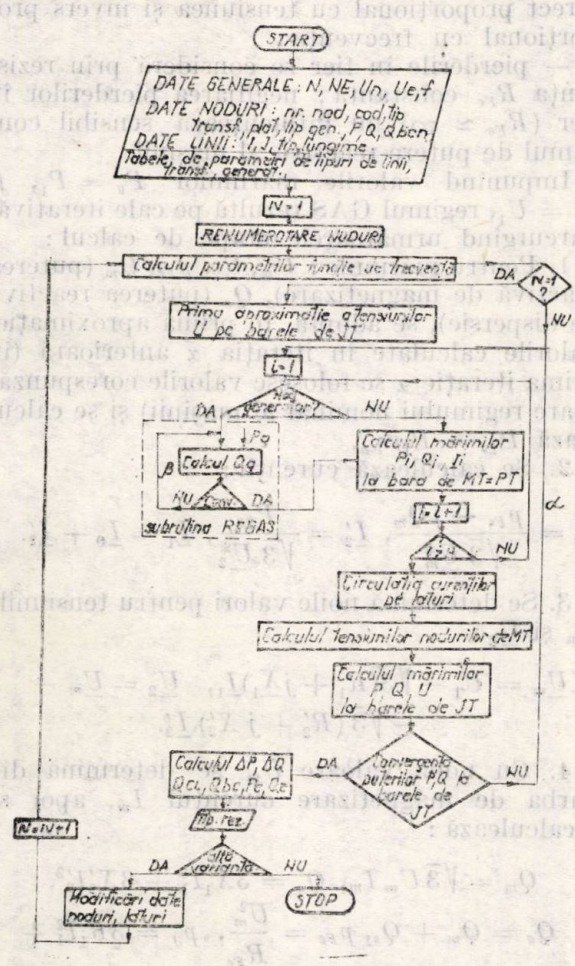


Fig. 1. Organigrama de calcul

a) *date generale*: N — numărul nodurilor, NE — nodul de echilibru, U_n — tensiunea nominală a reţelei (în kV), U_e — tensiunea nodului de echilibru (în kV), f — frecvenţa de regim (în Hz);

b) *date noduri*: Cod — indicator pentru tipul nodului, care precizează şi numărul transformatoarelor şi hidroagregatelor identice, funcţionînd în paralel; tipul transformatorului conectat la nod, plotul de funcţionare, tipul GAS sau GS (pentru noduri de tip generator), P_g — puterea activă (în kW) generată la bara de joasă tensiune (pentru noduri de tip generator cu GAS); P, Q — puterile activă şi reactivă (în kW, kvar) consumate sau generate la bara de joasă tensiune (pentru noduri de tip consumator sau noduri de tip generator cu GS), Q_{bcn} — puterea reactivă nominală a bateriei de condensatoare conectată la bara de joasă tensiune (în kvar);

c) *date linii*: perechea de noduri $i - j$ care defineşte linia, tipul şi lungimea liniei.

Puterile active şi reactive ale consumatorilor se apreciază prin metode cunoscute, pe baza informaţiilor obţinute din măsurătorile periodice de sarcină în reţea.

Numerotarea este arbitrară. În program se realizează renumerotarea, de la nodul de echilibru spre extremităţi, în scopul recunoaşterii rapide a structurii reţelei pe parcursul efectuării calculelor.

Calculul regimului permanent al reţelei de MT are la bază metoda tensiunilor nodale. În acest scop se utilizează schema echivalentă monofazată a reţelei [1], care conţine scheme simetrice în π pentru linii (cu rezistenţe şi reactanţe inductive pe ramurile longitudinale şi susceptanţe capacitive transversale) şi scheme în Γ pentru transformatoare (cu rezistenţe şi reactanţe de dispersie pe ramurile longitudinale, conductanţe de pierderi în fier şi susceptanţe inductive de magnetizare pe ramurile transversale). Parametrii liniilor, transformatoarelor şi GAS se identifică cu ajutorul unor tabele de tip.

În cadrul algoritmului se pun în evidenţă două bucle iterative:

— bucla α, reprezentînd iteraţii de regim utilizate în mod obişnuit în schemele clasice de calcul al regimurilor reţelelor electrice;

— bucla β, reprezentînd iteraţii de regim pentru GAS conectate în nodurile generatoare.

În fiecare iteraţie α se execută, pentru fiecare nod generator cu GAS, iteraţii de tip β, în care, cunoscînd puterea activă P_g debitată de generator, valoarea frecvenţei şi tensiunea la bornele generatorului, rezultată în iteraţia curentă de tip α, se calculează puterea reactivă Q_g absorbită din reţea.

În iteraţiile de tip α, mersul calculului decurge, în principiu, ca în algoritmul prezentat în lucrarea [4]. Iteraţiile β au loc în subrutina

REGAS (regim generator asincron). Corespunzător teoriei tehnice de funcționare a mașinii asincrone trifazate în regim permanent, modelarea GAS din MHC—CHEMP se realizează cu ajutorul schemei echivalente monofazate, prezentată în figura 2 *a*, în care : R_1, X_1 sînt rezistența și reactanța de dispersie ale unei faze statorice, R'_2, X'_2 — rezistența corespunzătoare pierderilor Joule și reactanța de dispersie, raportate la stator, ale unei faze rotorice, R_{Fe} — rezistența corespunzătoare pierderilor p_{Fe} în fierul statorului, X_m — reactanța de magnetizare, s — alunecarea mașinii (în regim de generator, $s < 0$).

Dacă la bornele 1, m, 2 se aplică tensiuni complexe avînd modulele egale cu valorile efective ale tensiunilor între faze și argumentele egale cu argumentele tensiunilor de fază, specificate în figura 2 *a*, rezultă schema din figura 2 *b*, avînd curenții complecși pe ramuri de $\sqrt{3}$ ori mai mari decît curenții reali pe faze, iar puterile complexe de circulație în elementele schemei sînt puteri trifazate.

Ținînd seama de sensurile pozitive alese pentru circulația puterilor active și reactive, rezultă pentru GAS :

$$P_g = P_1 < 0, \quad Q_g = Q_1 > 0.$$

Regimul permanent al GAS se determină în următoarele ipoteze de calcul :

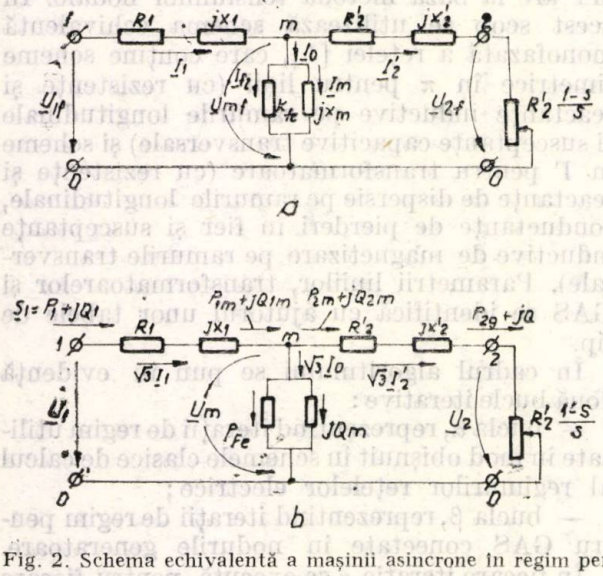


Fig. 2. Schema echivalentă a mașinii asincrone în regim permanent.

— se cunosc datele nominale : P_n, U_n, $\cos \varphi_n$, η_{en} — randamentul electric nominal (determinat în funcție de pierderile Joule, p_J, și de pierderile în fier, la sarcină nominală) și parametrii electrici : R_1, X_1, R'_2, X'_2, X_m ;

— reactanțele de dispersie X_1, X'_2 sînt independente de saturație și variabile direct proporțional cu frecvența ;

— reactanța de magnetizare X_m se recalculează în fiecare iterație β cu ajutorul curbei de magnetizare a mașinii ; dacă aceasta nu se cunoaște se folosește curba reprezentată în figura 3, recomandată în literatură [3] ; curba de magnetizare se recalculează în funcție de

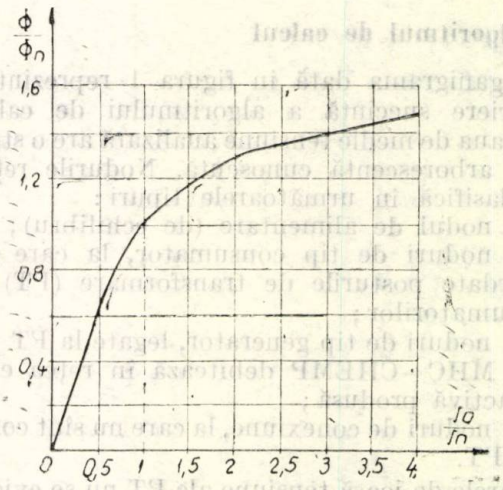


Fig. 3. Curba de magnetizare a mașinii asincrone.

tensiunea U_m și de frecvența regimului, în ipoteza că fluxul magnetic principal variază direct proporțional cu tensiunea și invers proporțional cu frecvența ;

— pierderile în fier se consideră prin rezistența R_{Fe} constantă ; neglijarea pierderilor în fier ($R_{Fe} \simeq \infty$) nu influențează sensibil consumul de putere reactivă al mașinii.

Impunînd valorile mărimilor $P_g = P_1$, f, $U = U_1$, regimul GAS rezultă pe cale iterativă, parcurgînd următoarele etape de calcul :

1. Pentru mărimile : $\underline{U}_m$, $\underline{U}_2$, p_{Fe}, Q_m (puterea reactivă de magnetizare), Q_s (puterea reactivă de dispersie), se adoptă, în prima aproximație, valorile calculate în iterația α anterioară (în prima iterație α se folosesc valorile corespunzătoare regimului nominal al mașinii) și se calculează $P_{2g} = P_1/\eta_{en}$.

2. Se calculează curenții :

$$\underline{I}_0 = \frac{p_{Fe} - jQ_m}{\sqrt{3}\,\underline{U}_m^*}, \quad \underline{I}'_2 = \frac{P_{2g}}{\sqrt{3}\,\underline{U}_2^*}, \quad \underline{I}_1 = \underline{I}_0 + \underline{I}'_2.$$

3. Se determină noile valori pentru tensiunile $\underline{U}_m$ și $\underline{U}_2$:

$$\underline{U}_m = U_1 - \sqrt{3}(R_1 + j\underline{X}_1)\underline{I}_1, \quad \underline{U}_2 = \underline{U}_m - \sqrt{3}\,(R'_2 + j\,X'_2)\,\underline{I}'_2.$$

4. Cu noua valoare U_m se determină din curba de magnetizare curentul I_m, apoi se recalculează :

$$Q_m = \sqrt{3}\,U_m I_m, \quad Q_s = 3X_1 I_1^2 + 3X'_2 I'^2_2,$$

$$Q_g = Q_m + Q_s, \quad p_{Fe} = \frac{U_m^2}{R_{Fe}}, \quad p_J = 3R_1 I_1^2 + 3R'_2 I'^2_2, \quad P_{2g} = P_1 - p_J - p_{Fe}, \quad \eta_e = P_1/P_{2g}.$$

5. Se verifică condiţiile de convergenţă impuse simultan asupra puterilor Q_m, Q_s, P_{2g}: diferenţele absolute dintre valorile acestor mărimi, obţinute în două iteraţii succesive să nu depăşească eroarea maximă de 1 kVA; dacă aceste condiţii nu se îndeplinesc se reia calcul de la punctul 2.

Verificarea subrutinei în diverse regimuri atestă o convergenţă sigură a calculelor, fiind necesare în medie trei iteraţii pe regim.

2. Programul de calcul şi rezultatele obţinute

Pe baza algoritmului descris mai sus a fost întocmit un program de calcul în BASIC pentru calculatorul personal TIM—S. Programul a fost realizat pentru dimensiuni variabile ale reţelei, fiind testat pînă în prezent pentru diverse configuraţii de reţea, avînd pînă la maximum 50 de noduri.

Programul calculează un regim de bază şi, la opţiunea utilizatorului, variante de calcul obţinute prin modificări operate asupra datelor variantei de bază.

Testarea programului arată că numărul iteraţiilor α necesare convergenţei calculelor în varianta de bază nu depinde de numărul nodurilor, avînd valoarea maximă egală cu 3 pentru erori de 1 kVA impuse puterilor din noduri. În variantele care se succed celei de bază numărul iteraţiilor poate scădea la 2 sau la 1.

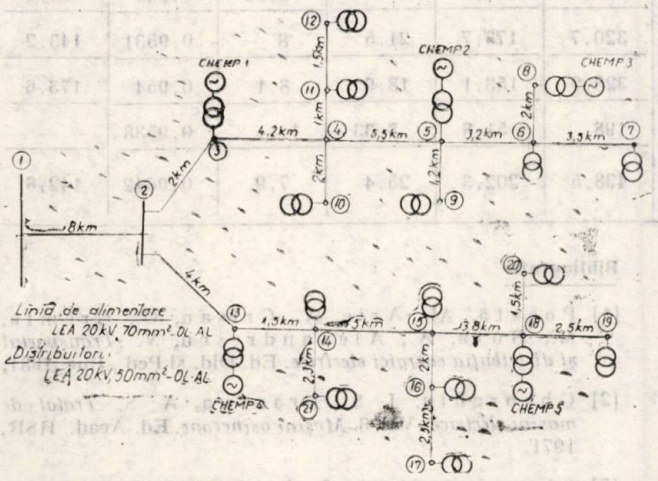


Fig. 4. Schema monofilară a reţelei analizate.

În continuare, se prezintă cîteva rezultate obţinute prin aplicarea programului în cazul reţelei de 20 kV, reprezentată în figura 4. S-au calculat în total patru variante, diferenţiate prin următoarele date de intrare:

Varianta 1: $U_e = 20{,}2$ kV; $f = 50$ Hz;
Varianta 2: $U_e = 20{,}2$ kV; $f = 47$Hz;
Varianta 3: $U_e = 19{,}3$ kV; $f = 47$ Hz;
Varianta 4: $U_e = 19{,}3$ kV; $f = 47$ Hz şi puteri nominale ale bateriilor de condensatoare (BC) instalate în CHEMP de două ori mai mari faţă de variantele 1—3.

Tabelul 1

Date impuse la noduri

Nod	Tip	S_{nT} (kVA)	Plot	P_{ng} (kW)	P (kW)	Q (kvar)	Q_{ben} (kvar)
3	G	630	2	630	—420	—	90
5	G	2×400	2	2×400	—600	—	150
6	C	160	2	—	42	20	—
7	C	100	2	—	30	15	—
8	G	2×400	2	2×400	—560	—	180
9	C	250	2	—	0	30	—
10	C	250	2	—	90	40	—
11	C	250	2	—	70	25	—
12	C	160	2	—	50	20	—
13	G	2×250	2	2×250	—400	—	—
14	C	400	2	—	120	60	—
15	C	250	2	—	60	20	—
16	C	160	2	—	55	18	—
17	C	160	2	—	45	15	—
18	G	2×630	2	2×630	—900	—	150
19	C	250	2	—	75	30	—
20	C	100	2	—	35	10	—
21	C	250	2	—	85	35	—

Tip nod: G — generator, C — consumator, S_{nT} — puterea nominală a transformatoarelor din PT, P_{nG} — puterea nominală a GAS din CHEMP

Date nominale şi parametrii GAS

Tabelul 2

P_{ng} (kW)	U_n (V)	$\cos\varphi_n$	η_{en}	R_1 la 75°C (Ω)	X_1 (Ω)	R_2' (Ω)	R_2' (Ω)	X_m (Ω)
250		0,88	0,955	0,00604	0,0415	0,0059	0,0372	1,529
400	400	0,81	0,95	0,00671	0,058	0,005	0,0425	0,896
630	400	0,85	0,9	0,00371	0,029	0,0031	0,0293	0,685

Tabelul 3

Rezultate obținute în variantele calculate

Varianta de calcul	Puterea pe linia de alimentare		Pierderi active (kW)				Pierderi reactive (kvar)				Aport capacitiv (kvar)	
			Total	Linii	Trafo		Total	Linii	Trafo		Linii	BC
	P_e (kW)	Q_e (kvar)			ΔP_{Fe}	ΔP_{Cu}			ΔQ_s	ΔQ_m		
1	−1839	2215	203,5	123,9	26,8	52,8	443,9	87,4	184,1	172,4	89,5	638,6
2	−1814	2532	228,8	144,5	26,5	57,8	467,6	95,9	182,5	189,2	83,8	592,5
3	−1815	2348	228	144,1	24,4	59,5	457,9	95,5	167,5	194,9	76,8	545
4	−1857	1795	186,1	109,1	24,9	52,1	412,2	72,4	171,1	168,7	77,7	1127,4

Tabelul 4

Date de regim calculate pentru GAS

Varianta de calcul	Nod	U_{MT} (kV)	U_{JT} (V)	Q (kvar)	Q_m (kvar)	Q_s (kvar)	P_J (kW)	P_{Fe} (kW)	η_e	Q_{bc} (kvar)
2	3	20,23	398,3	342,1	256	86,1	10,87	4,3	0,9651	93
	5	20,3	399,1	541	372,4	168,6	20,9	8,64	0,9531	155,7
	8	20,4	401	530,2	380,3	149,9	18,56	8,73	0,9535	188,5
	13	20,2	396,6	281,8	231,7	50,1	8,04	11,9	0,9524	—
	18	20,3	398,8	706,4	512,2	194,2	24,5	8,6	0,9645	155,3
3	3	19,4	382	307,9	218,6	89,3	11,24	3,98	0,965	85,4
	5	19,5	383,1	494,4	320,7	173,7	21,5	8	0,9531	143,2
	8	19,5	385	482	328,9	153,1	18,9	8,1	0,954	173,6
	13	19,4	380,7	249,8	198	51,8	8,33	11	0,9538	—
	18	19,4	382,6	640,8	438,5	202,3	25,4	7,9	0,9642	142,8

Datele nodale pentru variantele calculate, exceptînd valorile Q_{bcn} pentru ultima variantă se prezintă în tabelul 1. Tabelul 2 cuprinde parametrii GAS utilizați în calcul. Principalele rezultate pentru cele patru variante de regim se dau în tabelul 3. Tabelul 4 conține datele regimurilor de funcționare ale GAS, calculate în variantele 2 și 3.

Rezultatele obținute confirmă validitatea premiselor teoretice care stau la baza algoritmului de calcul. Alte posibilități ale programului, precum și varianta FORTRAN-77, pentru sisteme de calcul de viteză și capacitate mai mare, aflată în curs de elaborare, vor face obiectul unor comunicări viitoare.

Bibliografie

[1] Poeată, Al., Arie, A., Crișan, O., Eremia, M., Buta, A., Alexandrescu, V. *Transportul și distribuția energiei electrice*. Ed. Did. și Ped., Buc., 1981.

[2] Gheorghiu, I. S., Fransua, A. S. *Tratat de mașini electrice*. Vol. 3. *Mașini asincrone*. Ed. Acad. RSR, 1971.

[3] Sîromiatnikov, I. A. *Rejimî raboti asinhronnîh i sinhronnîh elektrodvigatelei*. Gosenergoizdat, Moskva, 1963.

[4] Chirculescu, N., Marinescu, D. *Algoritm și program pentru calculul regimurilor staționare și al pierderilor de putere în rețelele radiale de medie tensiune*. In: Energetica, 24, nr. 1, 1976.

(Primit la 14 iulie 1989, acceptat la 14 februarie 1990)

CET Drobeta-Turnu-Severin

Dr. ing. MIHAI RUSU, ing. CONSTANTIN SÂRBU, ing. DUMITRU GÂRDAN*

Descriptori : centrale electrice de termoficare

Structura energiei primare a viitorului deceniu în România va fi formată în întregime din cărbune, minereuri radioactive, hidroenergetică și sursele noi de energie.

Articolul tratează o nouă sursă energetică, CET Drobeta-Turnu-Severin, a cărei construcție a început în anul 1981, în contextul dobîndirii independenței energetice.

Amplasată pe o suprafață de 93 ha în nordul orașului Drobeta-Turnu-Severin, la stînga drumului național 67, termocentrala va rezolva în principal în mod eficient alimentarea cu energie termică a Combinatului Chimic și a unităților industriale din municipiul Drobeta, alimentarea cu căldură și apă menajeră a orașului. Toate acestea utilizînd lignitul din bazinul Mehedinți, cu o putere calorifică medie de 6,7 MJ/kg.

Soluțiile constructive au fost dezvoltate eficient în condițiile creșterii ritmului de execuție.

Continuitatea și siguranța în funcționare au fost factorii de bază în alegerea celor mai bune soluții tehnologice.

The future structure of primary energy in the next decade in Romania will be constituted of coal, radioactive ores, hydroenergy and new energy sources.

The paper presents a new power source, the Thermal Power Plant Drobeta-Turnu-Severin, whose erection started in 1981, with the purpose to assure an energy independency.

Located in the Northern part of the town Drobeta-Turnu-Severin, on the left side of the national road 67 and covering a surface of 93 ha, the power plant was built mainly in order to supply thermal power to the Chemical Plants and to the industrial enterprises of the town, as well as to provide heat and hot household water to the inhabitants. It is burding lingnite from the Mehedinți coalfield, with a mean calorific value of 6.7 MJ/kg.

The constructive solution were efficiently developed in order to meet requirements of a quick erection.

The basic factors for the choice of optimal technological solutions were continuity and reliability.

Generalități

Amplasată pe o suprafață de 93 ha în nordul orașului Drobeta-Turnu-Severin, termocentrala era prevăzută inițial cu șase cazane de 420 tone abur/oră și șase turbine de termoficare de 50 MW, asigurînd în principal alimentarea cu energie termică a Combinatului Chimic Drobeta și a unităților industriale din municipiul Drobeta. Centrala utilizează lignitul din bazinul Mehedinți cu o putere calorifică medie de 1 600 kcal/kg.

Lucrările de construcții au început în iulie 1981, pînă la 1 ianuarie 1990 fiind puse în funcțiune cinci cazane de 420 tone abur/oră și patru turbine.

Consumatorii termici prevăzuți a fi asigurați din această centrală totalizează 2 860 tone/oră, în condiții de continuitate și siguranță sporită.

Execuția centralei s-a făcut pe baza proiectului tip pentru centrale cu grupuri de 50 MW.

1. Aspecte privind realizarea clădirii principale

Conform proiectului tip s-au adoptat următoarele soluții :

— Sala de mașini : beton armat și beton armat precomprimat, deschidere de 25 m, cotă de deservire a turbinei + 6,00 m, cota subsol —3,50 m, închideri cu panouri din BCA și profilit, acoperiș din elemente de suprafața și luminatoare metalice. Pentru cele două poduri rulante de deservire s-au realizat grinzi din beton armat prefabricat.

— Corpul buncărelor (stîlpii, grinzile longitudinale, transversale) este în construcție metalică, iar planșeele din elemente de beton armat prefabricat. Are deschiderea de 10 m și înălțimea de 47 m (fig. 1).

— Turnul de capăt a avut soluții constructive asemănătoare cu corpul buncărelor, dar s-a realizat metalic, avînd deschiderea de 10 m, lungimea de 18 m și înălțimea de circa 54 m (fig. 2).

— Sala cazanelor a fost realizată, conform proiectului, în construcție metalică între cotele +10,50 și +32,00 m. Pînă la cota +10,50 s-a realizat închidere din zidărie de cărămidă și peste această cotă pereți din metal. Acoperișul s-a realizat din tablă striată pentru primele două la cota 32, iar pentru următoarele închiderea este la cota superioară a cazanului (cota 54 m).

În spatele cazanelor s-au montat preîncălzitoarele de aer rotative, ventilatoarele de aer, aer recirculat, gaze arse, electrofiltrele, canalele de gaze arse, stațiile electrice pentru electrofiltre.

Stațiile electrice pentru servicii proprii și comune s-au amplasat lateral (fig. 3).

Electrofiltrele și stațiile electrice s-au realizat în structură din beton armat prefabricat (cadre longitudinale și transversale).

Canalele de gaze arse s-au realizat în structură din beton armat prefabricat.

Sala de mașini în principiu a rămas cu aceleași soluții constructive pentru grupurile 1—4, modificîndu-se cota subsolului la —4,00 m și înlocuindu-se panourile de profilit cu geam cu tîm-

* Dr. ing. Mihai Rusu, ing. Constantin Sârbu, ing. Dumitru Gârdan — Institutul de Studii și Proiectări, Timișoara.

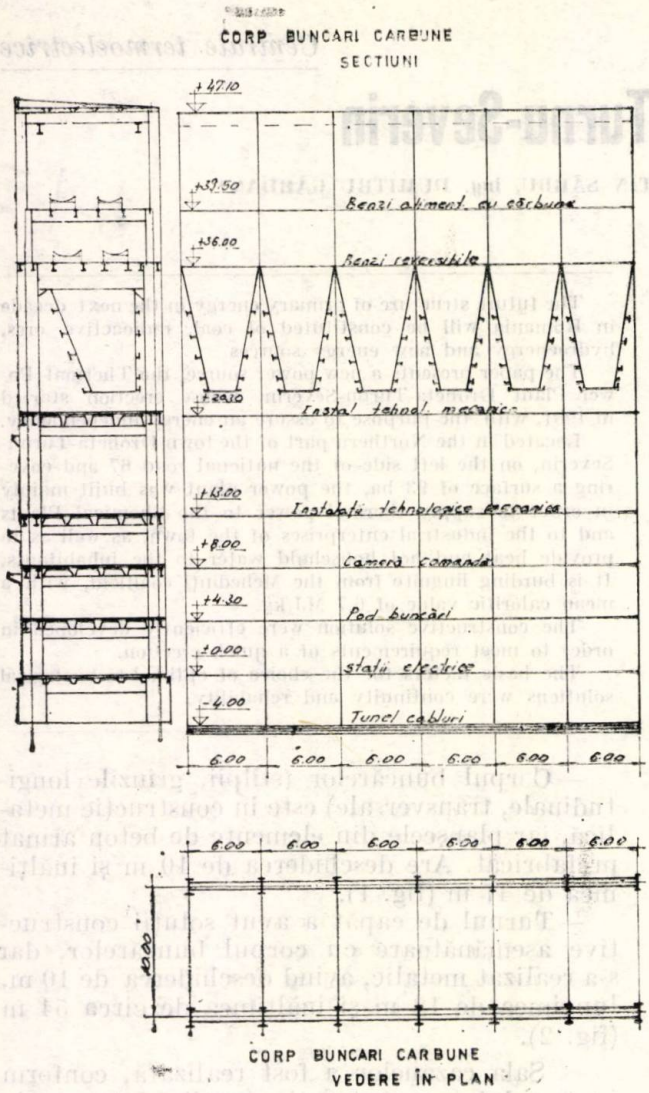


Fig. 1. Corp buncări cărbune.

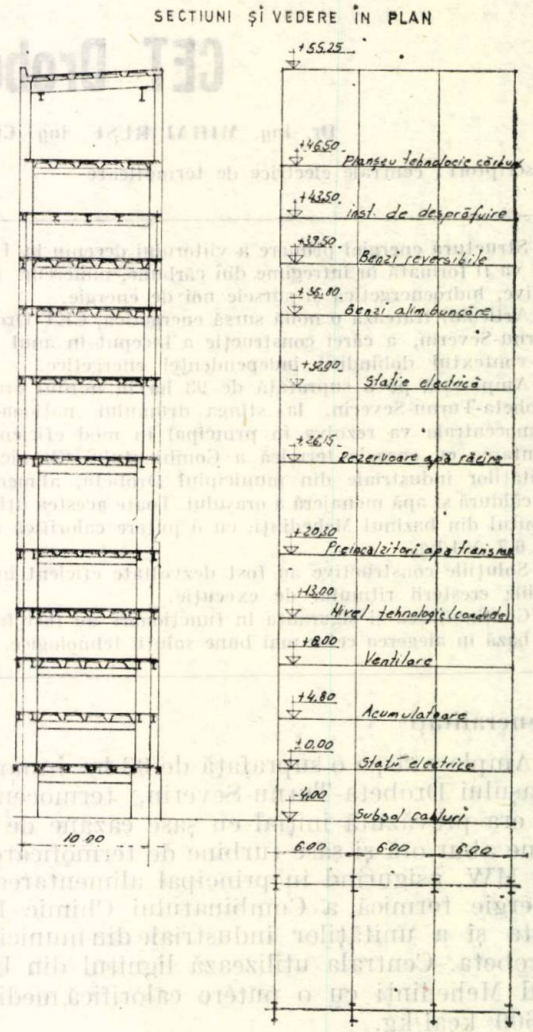


Fig. 2. Turn de capăt.

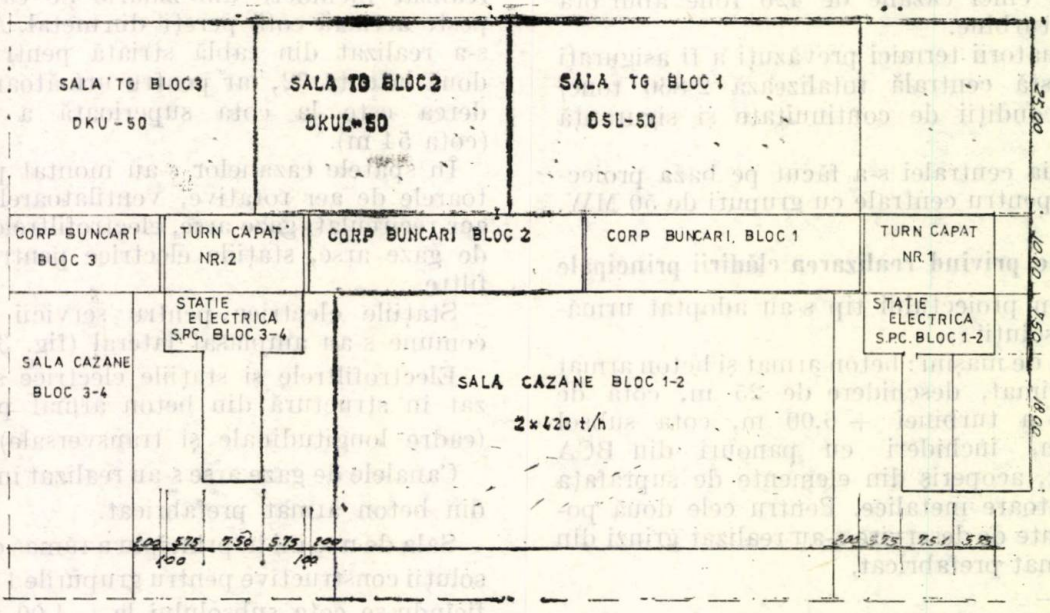


Fig. 3. Clădirea principală. Plan amplasare.

plărie metalică, pentru 5 și 6 s-a ridicat cota de deservire a turbinelor și înălțimea sălii mașinilor cu 2 m.

Modificările față de proiect legate de adaptarea unor structuri au fost impuse de necesitatea creșterii ritmului de execuție.

Închiderea frontului fix s-a făcut cu tablă cutată termoizolată.

Dispoziția echipamentelor în cadrul clădirii principale s-a făcut modulat, în scopul uniformizării instalațiilor. Pentru buna desfășurare a lucrărilor de reparații la echipamentele energetice, inclusiv demontarea, montarea și transportul pieselor s-a prevăzut un spațiu corespunzător de 4 travee între grupurile 4 și 5 (fig. 4).

Pentru determinarea consumurilor individuale ale unităților în funcționare,pe benzile 13, 16 și 20 sînt prevăzute cîntare de bandă. Benzile 10 pot prelua și deversa cărbunele pe fiecare din circuitele din amonte și aval, trecerea făcîndu-se prin benzi reversibile.

Pentru asigurarea unei bune funcționări transportoarele au fost prevăzute în varianta închisă (mai puțin transportoarele de la descărcare și cele din depozit) (fig. 5).

3. Schema termomecanică (fig. 6)

Aceasta a suferit modificări față de proiectul inițial, atît datorită experienței de exploatare, cît și solicitărilor de continuitate și siguranță

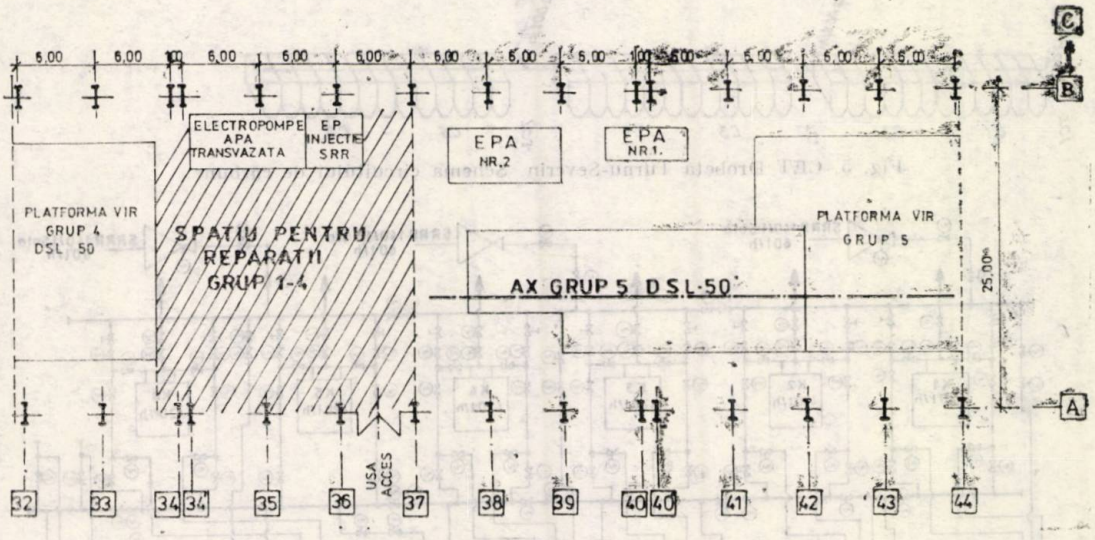


Fig. 4. Amenajarea sălii TG. Spațiu pentru reparații.

2. Gospodăria de cărbune

Amplasată în N—E centralei termice de termoficare, gospodăria de cărbune asigură un stoc de 750 mii tone și descărcarea zilnică a circa 30 mii tone cărbune. Aceasta este prevăzută cu două estacade de descărcare cu lungimea efectivă de 500 m și două tuneluri de dezgheț lungi de 540 m fiecare. Cărbunele descărcat este preluat de opt mașini cu capacitate de 600 t/h fiecare și descărcat pe benzile transportoare, prevăzute cu detectoare de metale și separatoare magnetice.

Schema de transport a cărbunelui este dată în figura 5; se vede că după trecerea prin stația de sfărîmare, echipată cu șase concasoare cu ciocane, de capacitate 1 200 t/h, cărbunele sfărîmat este preluat de benzile transportoare ce au capacitate de 3 × 2 400 t/h și de aici poate fi condus direct pentru consumul din centrală sau depozit pentru formarea stocului necesar.

Depozitul este prevăzut cu patru mașini combinate pentru depunere și preluare, din care trei de 2 400 t/h și una de 1 200 t/h.

în alimentarea cu energie termică. Modificările au constat în adoptarea tipului de turbină cu prize DSL-50 față de contrapresiune la TA 5 și TA 6, adăugirii de instalații de reducere-răcire, precum și secționării colectoarelor de abur, astfel încît centrala să poată asigura următoarele consumuri:

1 — la 40 bari	375 tone/oră
2 — la 16 bari	1200 tone/oră
3 — încălzire consumatori industriali și urbani 700 GJ/h	320 tone/oră
4 — consumul propriu al termocentralei	638 tone/oră

4. Schema electrică

În principiu este redată în figura 7. Stația de 110 kV este de tip interior cu dublul sistem de bare secționate în: 1 A, 2 A, 1 B, 2 B prin cuple longitudinale.

Constructiv, sistemele de bare A și B sînt separate prin perete de cărămidă.

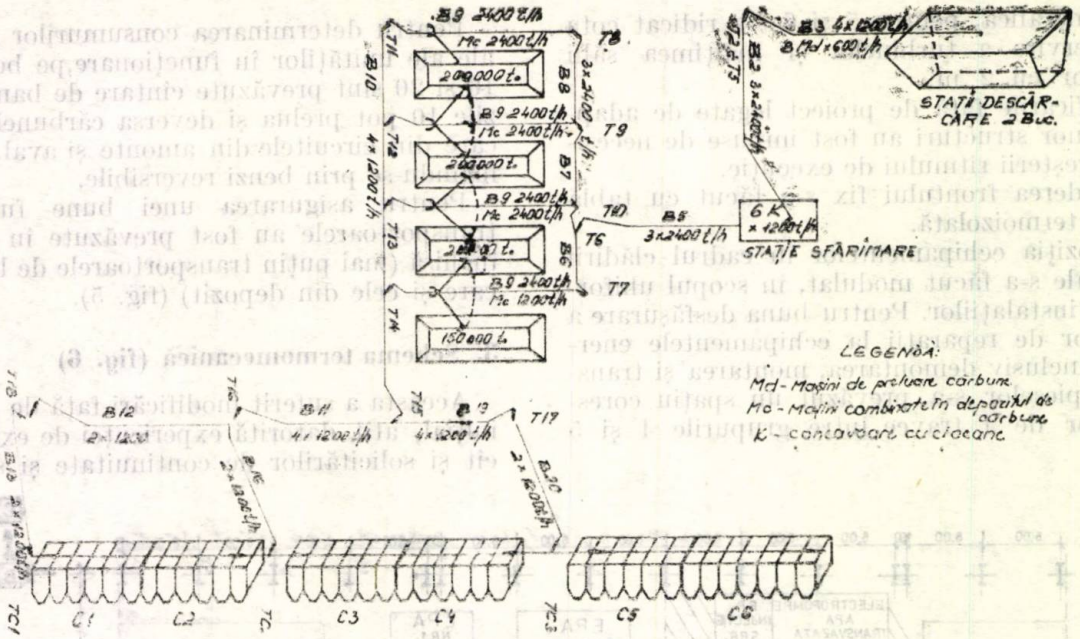


Fig. 5. CET Drobeta Turnu-Severin. Schema circuitului de cărbune.

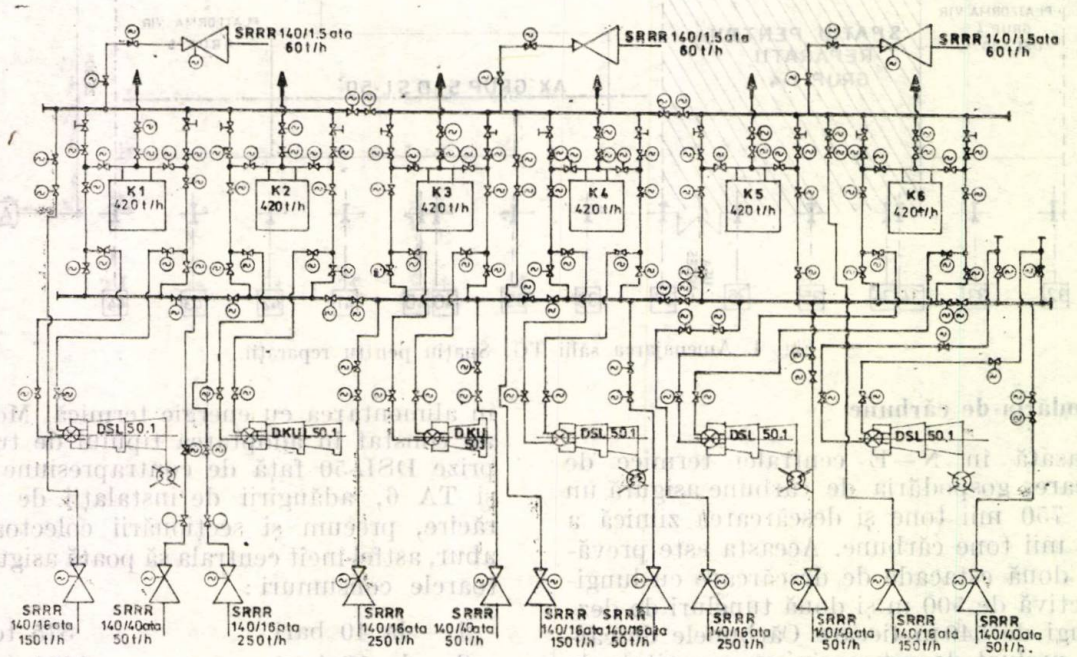


Fig. 6. Schema termomecanică a CET Drobeta-Turnu-Severin (6 × 50 MW).

Fiecare sistem de bare are racordate cîte patru linii aeriene de 110 kV (două cu combinatul chimic și două cu sistemul) și trei grupuri de 50 MW prin intermediul transformatoarelor de 80 MVA.

Fiecare bloc are întrerupător la borne, iar cele două sisteme de bare de 6 kV ale fiecărui bloc au trei posibilități de alimentare: prin transformatoarele de 16 MVA de 10/6 kV, din transformatoarele de 25 MVA de servicii comune (TSC 110/6 kV) sau din transformatoarele de servicii generale (TSG).

Schema este elastică, iar fiabilitatea echipamentului corespunzătoare.

5. Gospodăria de păcură

Gospodăria de combustibil lichid este concepută pentru a satisface două cerințe majore: asigurarea flăcării suport pentru arderea lignitului inferior în șase cazane de 420 t/h abur și funcționarea pe combustibil păcură a cazanelor de 105 t/h și a cazanului nr. 7.

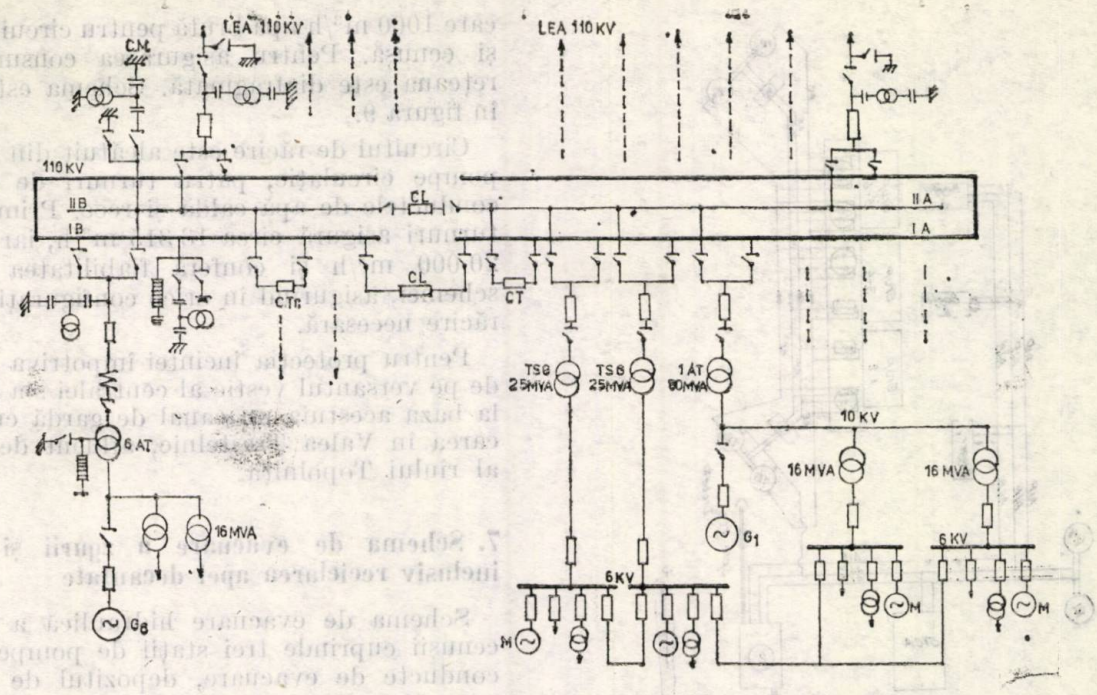


Fig. 7. Schema electrică monofilară de principiu a CET Drobeta-Turnu-Severin.

Din vagoanele cisternă păcura este descărcată la rampa de descărcare, de unde prin cădere liberă ajunge în staţia de transvazare echipată cu patru pompe TN şi şase pompe SBT, cu capacitatea de pompare de 1 360 m³/h. De aici păcura este trimisă în depozitul de combustibil, de unde prin cădere liberă sosește în staţia de pompe tr. I, cu capacitate totală de pompare de circa 640 m³/h, şi apoi în cele patru staţii de pompare păcură tr. II-a, cu capacitate de 588 m³/h.

Pentru ocuparea unor suprafeţe mai mici construite gospodăria de păcură a fost combinată cu gospodăriile de motorină şi uleiuri. Depozitele de motorină şi uleiuri sînt separate de depozitul de păcură. Schema de principiu a gospodăriei de păcură, motorină şi uleiuri este dată în figura 8.

6. Alimentarea cu apă a centralei

Se realizează în comun cu Combinatul Chimic din staţia de pompare amplasată amonte de oraşul Drobeta — din Dunăre prin patru conducte de Ø1000 mm în lungime de circa 10 km.

Staţia de pretratare este în estul termocentralei şi asigură pentru CET 4 000 m³/h din

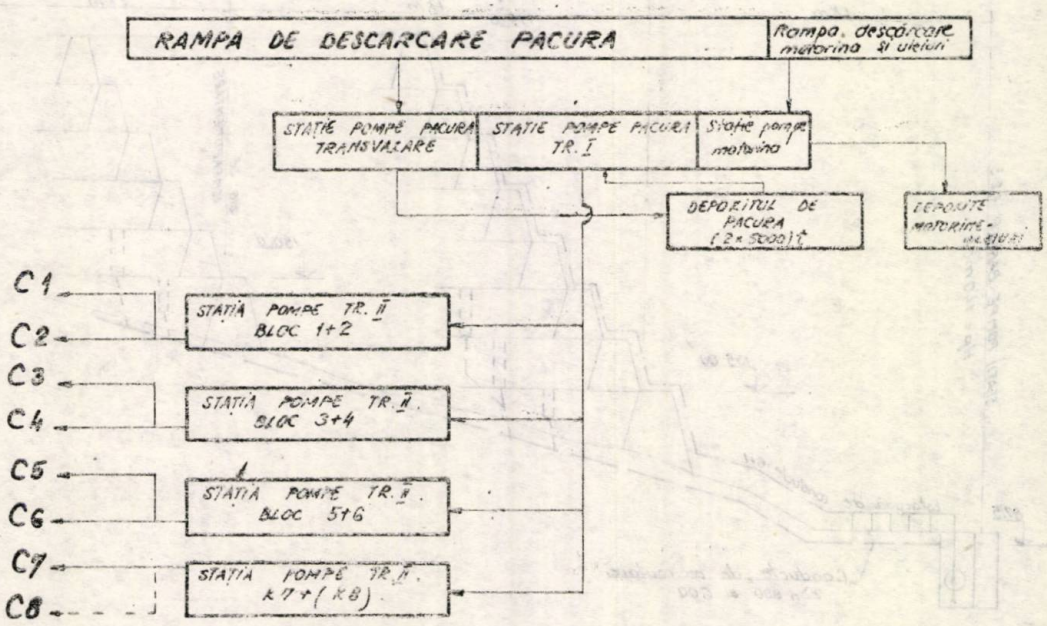


Fig. 8. Schema funcţională a gospodăriei de păcură.

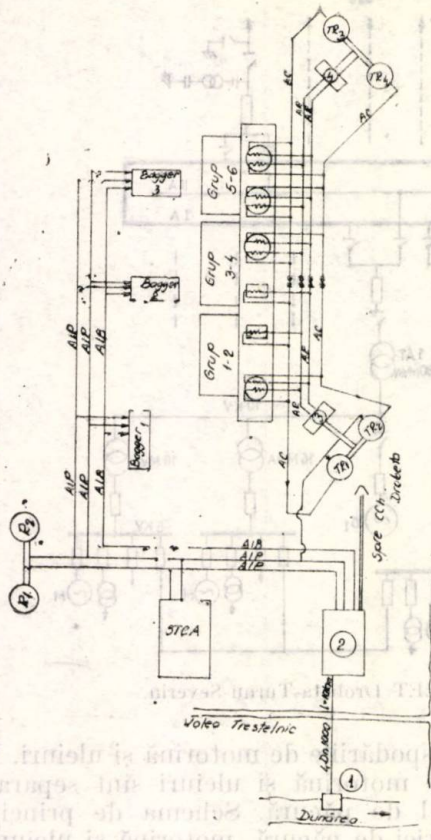


Fig. 9 Schema hidrotehnică a centralei: STCA — stație de tratare chimică a apei; 1 — priză și stație de pompare la Dunăre; 2 — stația de pretratare și pompare Halinga; 3 — stație pompe circulație Gr. 1, 2, 3; 4 — stație pompe circulație Gr. 4, 5, 6; TR_1, TR_2 — turnuri răcire Gr. 1, 2, 3; TR_3, TR_4 — turnuri răcire Gr. 4, 5, 6; AC, AR — conducte apă caldă și rece; AIP — conducte apă industrială pretratată; ALB — conductă apă industrială brută; R_1, R_2 — rezervoare stoc apă industrială pretratată.

care 1000 m^3/h apă brută pentru circuitul zgură și cenușă. Pentru asigurarea consumatorilor rețeaua este diafragmată. Schema este redată în figura 9.

Circuitul de răcire este alcătuit din stația de pompe circulație, patru turnuri de răcire și conductele de apă caldă și rece. Primele două turnuri asigură circa 13 315 m^3/h, iar ultimele 20 000 m^3/h și conferă fiabilitatea bună a schemei, asigurînd în orice configurație apa de răcire necesară.

Pentru protecția incintei împotriva viiturilor de pe versantul vestic al centralei s-a prevăzut la baza acestuia un canal de gardă cu descărcarea în Valea Trestelnic, afluent de dreapta al rîului Topolnița.

7. Schema de evacuare a zgurii și cenușii, inclusiv recielarea apei decantate

Schema de evacuare hidraulică a zgurii și cenușii cuprinde trei stații de pompe Bagger, conducte de evacuare, depozitul de zgură și cenușă, conducte de recirculare a apei decantate (fig. 10).

Pe fiecare stație de pompe Bagger se asigură funcționarea a cîte două grupuri energetice. Nu există legături de ajutor între stații.

Depozitul de zgură și cenușă este amplasat pe Valea Trestelnic, la circa 1 km de centrală, la o cotă superioară acesteia.

Pentru acoperirea diferenței de cotă dintre CET și depozit în etapa finală de realizare a acestuia și a pierderilor de sarcină de pe traseu, a fost necesară realizarea stațiilor de pompe Bagger în două trepte de pompare a 70 m^3/H_2O,

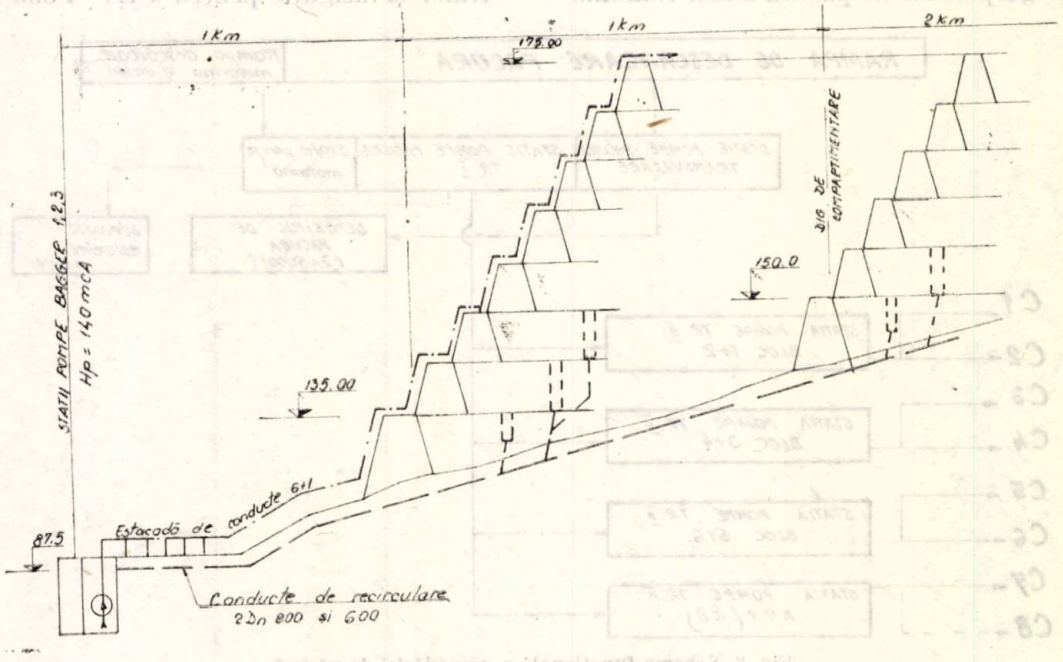


Fig. 10. Schema de evacuare hidrotehnică a zgurii și cenușii.

fiecare pompă în pompă. Pompele Bagger sînt pompe de producție indigenă de tipul B.T. 350.

Evacuarea se face de la fiecare stație prin trei conducte (două în funcțiune și una în rezervă).

Depozitul de zgură alcătuit din două compartimente are o lungime de circa 3 km și asigură funcționarea centralei la capacitatea nominală pe o perioadă de circa 15 ani. Este în construcție al doilea depozit pe Valea Mușei. Apa din depozit este readusă în centrală prin cădere liberă.

8. Protecții și automatizări

Protecțiile instalațiilor tehnologice pentru grupurile de 50 MW sînt :

a) pentru cazan :

- protecția de nivel maxim tambur ;
- protecția de nivel minim (două din trei traductoare de nivel) ;
- protecția depresiune cameră focară ;
- protecția presiune totală bară aer ardere ;
- protecția presiune păcură (mai mică de 15 bari) ;
- protecția pentru număr minim arzătoare susținere păcură;
- protecțiile la declanșarea agregatelor auxiliare, ambele ventilatoare aer, ambele ventilatoare de gaze și ambele preîncălzitoare de aer rotative.

Toate acestea acționează asupra închiderii ventilelor de închidere rapidă păcură (VIR) și vanelor izolare cazan.

b) pentru turbină :

- protecția temperatură abur viu : minim 480°C; maxim 560°C;
- protecția presiunii ulei ungere (mai mic de 8 bari) ;
- protecția de vid scăzut ;
- vibrații lagăre (semnalizare) ;
- diferența presiune ulei-hidrogen (P mai mare 0,3) ;
- supraturație;

c) pentru generator :

- puritate hidrogen în generator ;
- nivel lichid în generator ;
- protecție diferențială generator ;
- protecție putere inversă generator tr. I și tr. II ;
- protecția de pierdere a excitației ;
- protecția împotriva suprasarcinilor nesimetrice ;
- protecția împotriva punerilor la pămînt statorice ;
- protecția împotriva punerilor la pămînt rotorice.

Este de menționat că punctele b) și c) conduc la închiderea VIR (ventilul de închidere rapidă) a turbinei și deconectarea întrerupătorului de 10 kV de la bornele generatorului.

Buclele de reglaj pentru un bloc de 50 MW sînt :

a) cazan :

- reglarea nivelului în tambur ;
- reglarea depresiunii în focar ;
- reglarea temperaturilor pe supraîncălzitoarele II, III și IV ;
- reglajul de presiune tur general păcură;
- reglajul de presiune retur păcură pe grupe de arzătoare.

b) turbina :

- reglaj nivel condensator ;
- reglaj nivel preîncălzitoare (PIP, PJP) ;
- reglajul presiunii pe prizele turbinei ;
- reglajul de nivel și presiune pe degazorii de 6 ata și 1,2 ata;
- automatica pe pompele de alimentare (EPA), atît AAR, cît și tehnologic ;

c) generator :

- reglajul automat al tensiunii la borne ;
- AAR pe barele de 6 kV și 0,4 kV.

Menționăm că pentru aceste grupuri este realizată centralizarea conducerii fluxurilor tehnologice prin comasarea aparatajului principal de măsură într-o cameră de comandă tehnologică comună pentru două grupuri.

Concluzii

Experiența acumulată la execuție și punerea în funcțiune a primelor grupuri, precum și punerea în funcțiune a combinatului chimic a condus la următoarele concluzii :

a) Dimensionarea centralei s-a făcut fără să se țină seama în totalitate de perspectiva de dezvoltare a consumului de energie termică pentru combinat și neluînd integral în considerare necesitățile reale de exploatare privind numărul și duratele de oprire pentru reparații planificate și intervenții accidentale, gradul de rezervare fiind foarte redus. Aceasta a impus suplimentarea față de proiect a numărului de cazane cu încă unul de 420 t/h pe păcură și în continuare se impune studierea posibilităților de amplificare a surselor de energie termică prin utilizarea condensatorului în cazane recuperatoare.

b) Din punct de vedere constructiv amplasarea unor agregate a fost făcută astfel încît nu au fost asigurate condiții optime de intervenție, atît pentru manevre, cît și în special pentru întreținere și reparații.

Pe parcursul execuției și exploatării au fost aduse următoarele îmbunătățiri :

— modificarea sălii mașinii (ridicarea la cota 8 de deservire și înălțarea cu 2 m) de la grupul 4 pentru spații de deservire mai bune și spații de reparații ;

— reamplasarea de utilaje (exemplu : nodul de alimentare cazan și stațiile de reducere răcire, pentru asigurarea unei intervenții și exploatări cît mai bune).

De asemenea, au fost realizate și următoarele modificări în schemele tehnologice :

— secționarea colectoarelor de abur și apă între grupuri ;

— circuit de injecție pentru abur la consumatori din refularea EPA, cît și prevederea unei injecții în aburul de 40 at la SRR 70/40 bar ;

— evacuarea apelor din punctele joase cu ejectori ;

— evacuarea condensului de la boilere la epurare chimică și nu la canal ;

— alimentarea cu abur a boilerelor și din colectoare nu numai din prizele turbinelor ;

— racord între SRR 100/16 bar a CCH Drobeta cu conductele de abur ce alimentează combinatul chimic ;

— racordarea centralei de pornire (2×30) t/h cu conductele de 16 bar la consumatori ;

— secționarea consumatorilor interni de abur de aburul necesar procesului tehnologic (ex. : păcură, tunelul de dezgheț, calorifere de aburul de la degazoare).

Față de cele prezentate se impune ca pe baza unei analize de detaliu făcute cu factori de răspundere din exploatare și a altor centrale dotate cu grupuri similare, proiectul tip să fie revăzut și îmbunătățit astfel încît să poată fi asigurate condițiile unei exploatări optime.

Noile soluții ce se vor adopta vor trebui să țină cont de cheltuielile suplimentare în comparație cu avantajele economice realizate prin creșterea fiabilității schemelor și continuitatea în alimentarea consumatorilor.

(Primit la 27 iunie 1989, acceptat la 14 februarie 1990)

Studii pe bază de derivatograme ale comportării mixtelor de huilă de la Petrila în procesul de aprindere și ardere

Dr. ing. IOANA IONEL, prof. dr. ing. CORNEL UNGUREANU, ing. ANDREI GOGU *)

Descriptori : combustibil, aprindere

Lucrarea prezintă la început limitele și erorile ce apar dacă se determină cantitatea de materii volatile pe baza analizei termice realizate în aer. In scopul evitării acestor erori, autorii propun o nouă metodă de a utiliza o atmosferă de azot în cuptorul de încălzire. Metoda s-a aplicat pentru o huilă din bazinul carbonifer Petrila. Rezultatele obținute din analiza termică pe bază de derivatogramă realizată în azot, au fost apoi folosite în scopul prognozării comportării cărbunelui în procesul de aprindere și ardere.

The paper presents first of all the limits and the errors that appear by determining the quality of volatile matters using a thermic analysis in air. In order to avoid these errors, the authors propose a new method by using nitrogen atmosphere in the heating furnace. The method was applied to a bituminous coal fron the Petrila coalfield. The results offered by the thermal analysis through the derivatogram carried o out in nitrogen were finally used in order to forecast the behaviour of the coal in the ignition and burning process.

1. Unele considerații cu privire la analiza tehnică a mixtelor de huilă

Tendința de a folosi într-o măsură cît mai mare huila indigenă în scopul producerii cocsului siderurgic a făcut să scadă simțitor calitatea mixtelor de huilă, rezultate ca produs secundar în procesul de înnobilare a huilei. Așa de exemplu, puterea calorifică a mixtelor de huilă de la Petrila a scăzut la $H_i^i = 9-11$ MJ/kg, conținutul de cenușă a crescut la $A^i = (50-52)$ %, umiditatea totală se plasează în jur de $W_t^i = (10-11)$%, iar conținutul de volatile se înscrie în limitele $V^i = (24-26)$%.

Avînd în vedere conținutul ridicat de balast ($A^i + W_t^i$) și procentul relativ scăzut de volatile, se întrevăd dificultăți în ceea ce privește asigurarea aprinderii și stabilității arderii, probleme ce nu pot fi soluționate corect decît printr-un studiu atent al proprietăților fizico-chimice și tehnologice ale acestui combustibil. Dată fiind complexitatea determinării compoziției elementare, cît și a unor proprietăți tehnologice, în practica exploatării instalațiilor de ardere care folosesc combustibili solizi, se obișnuiește să se determine în mod

*) Dr. ing. Ioana Ionel, prof. dr. ing. Cornel Ungureanu — I.P. „Traian Vuia" Timișoara, ing. Andrei Gogu — I.M. Moldova Nouă.

curent numai analiza tehnică (umiditate, volatile, carbon fix și cenușa) și puterea calorifică.

Dacă în privința conținutului de carbon, de umiditate și cenușă procedeul de lucru și aparatura indicată în STAS-urile 5264 — 76 și 5265 — 76 sînt corespunzătoare nu același lucru se poate afirma și despre metodologia determinării volatilelor. STAS-ul 5268 —69 prevede că, pentru determinarea conținutului de volatile al unui cărbune, proba pentru analiză să fie încălzită în absența aerului timp de 7 minute la o temperatură a cuptorului de (1123 ± 20)K. Aparatura indicată și modul de lucru precizate nu asigură însă condițiile stipulate mai sus și ca urmare apare posibilitatea unor erori mai mari sau mai mici, care se repercutează și asupra conținutului de carbon fix.

Pe de altă parte, determinarea conținutului de volatile și de carbon fix se face doar cantitativ, fără să se obțină vreo indicație cu privire la temperaturile la care încep și se sfîrșesc aceste procese, sau temperaturile pentru care viteza de degajare este maximă.

Se știe că formarea flăcării, deci aprinderea cărbunelui, este posibilă doar în locul în care amestecurile carburante, formate din volatile și mediul oxidant, au concentrații și temperaturi mai mari decît valorile limită inferioare de aprindere caracteristice amestecului respectiv de gaze [1, 2]. Ca urmare, prognoza aprinderii presupune cunoașterea dependenței dintre cantitatea de volatile degajată și temperatura particulei de cărbune.

Aceste informații se pot obține numai prin folosirea metodei de analiză termică, cu ajutorul derivatografului [3].

2. Folosirea metodei termografiei pentru determinarea analizei termice a mixtelor de huilă

Încercările experimentale au fost efectuate cu ajutorul unui derivatograf al cărui cuptor a fost programat să se încălzească cu viteza de 5, 10 și 20 K/min.

Rezultatele obținute sînt consemnate în tabelul 1, din care se constată că pe cîtă vreme valorile conținutului de umiditate și de cenușă sînt practic aceleași, indiferent de viteza de încălzire, valorile conținutului de volatile și de carbon fix diferă de la un caz la altul.

După multe și repetate încercări s-a ajuns la concluzia că diferențele care apar se datoresc faptului că în perioada de degajare și aprindere a volatilelor, alături de acestea, mai arde și o parte din carbonul fix. Ca urmare, rezultă valori diferite pentru conținutul de volatile al aceleiași probe, după cum viteza de încălzire, respectiv timpul de staționare a probei în cuptor, este mai mare sau mai mic.

Tabelul 1

Denumire	Simbol	Dim.	Viteza de încălzire, în K/min		
			5	10	20
Umiditate	W^a	%	3,5	4	3
Volatile	V^a	%	26,5	23	20
Carbon fix	C_f^a	%	19,0	21	24
Cenușă	A^a	%	51	52	53

Pentru remedierea acestei situații s-a ajuns la concluzia că se impune împiedicarea aprinderii și arderii carbonului fix prin încălzirea probei în cuptorul derivatografului umplut cu azot. În felul acesta nu se exclude aprinderea și arderea unei părți din volatile, dar aceasta reprezintă o cantitate mică, fiindcă în momentul consumării oxigenului, existent în compoziția cărbunelui, procesul de ardere încetează. Neexistînd oxigen nici măcar pentru arderea completă a volatilelor, aprinderea carbonului fix este puțin probabilă. Ca urmare s-a procedat astfel :

— după introducerea probei s-a îndepărtat aerul din cuptor printr-un curent de azot timp de 10 minute ; azotul a fost în prealabil purificat de oxigen prin trecerea sa printr-o încărcătură formată din șpan de cupru încălzit la 450 K ;

— continuînd introducerea azotului, cuptorul a fost programat să se încălzească cu viteza maximă de 20 K/min pînă la 1273 K și s-au ridicat curbele T, DTA, TG și DTG, care reprezintă variația în timp a temperaturii substanței termic inerte (T), diferența de temperatură dintre proba de cărbune și substanța termic inertă (DTA), modificarea masei probei în funcție de temperatura (TG) și viteza schimbării de masă (DTG) (fig. 1) ;

— procesul a fost apoi întrerupt, proba a fost răcită cu azot, apoi s-a introdus aer și s-a reluat încălzirea cuptorului cu viteza de 10 K/min, rezultînd curbele din figura 2 ; se remarcă definitivarea procesului de calcinare a cărbunelui, curba TG ajungînd la un palier care atestă că proba a atins o greutate constantă.

3. Rezultate experimentale și concluzii

Pierderile de greutate $\Delta m_1 = 7{,}5$ mg și $\Delta m_2 = 48$ mg înregistrate pe curba TG din figura 1, corespund degajării umidității și volatilelor, iar $\Delta m_3 = 144{,}5$ mg reprezintă carbonul fix și cenușa. Prin răcirea probei cu azot se produce adsorbția umidității $\Delta m_w = 5$ mg (fig. 2), rezultă masa carbonului fix $\Delta m_4 = 36{,}5$ mg, respectiv a cenușii $\Delta m_5 = 108$ mg.

În tabelul 2 sînt prezentate participările masice ale componentelor analizei tehnice a

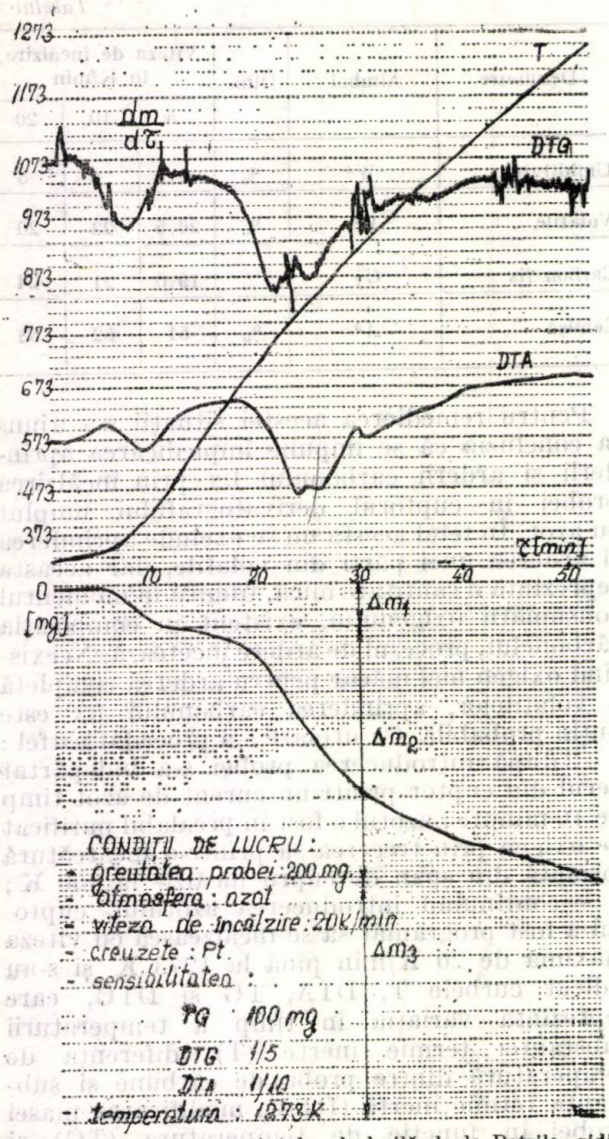


Fig. 1. Derivatograma mixtelor de huilă de la Petrila, ridicată în atmosferă de azot.

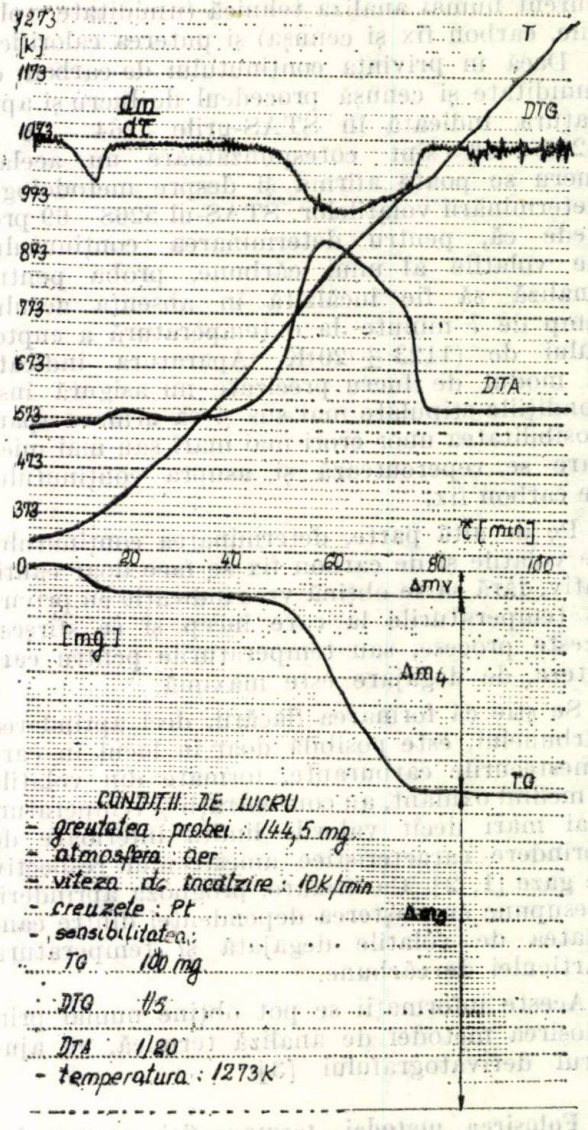


Fig. 2. Derivatograma reziduului mixtelor de huilă de la Petrila ridicată în aer.

mixtelor de huilă de la Petrilia, obținute din derivatogramele pe care sînt stipulate condițiile de lucru. Ținînd seama de alura curbelor DTG și DTA se pot aprecia și intervalele de temperaturi în care se desfășoară fiecare proces, valori consemnate de asemenea în tabelul 2. Referitor la volatile se constată

Tabelul 2

Denumire	Simbol	Conținut [%]	Interval de temperaturi [K]
Umiditate	W^a	3,75	293 – 493
Volatile	V^a	24,00	493 – 1093
Carbon fix	C_f^a	18,25	833 – 1093
Cenușă	A^a	54,00	1093 – 1273

prezența a două maxime ale vitezei de degajare, unul în jur de 650 K, iar al doilea la circa 890 K. Între acestea, în intervalul (750 – 830)K se înregistrează un minim al vitezei de degajare a volatilelor.

Dacă sînt cunoscute temperaturile inițială T_0 și finală T_f ale degajării volatilelor, precum și viteza de încălzire $W_{inc} = dT/d\tau$, în lucrarea [2] se indică o metodă simplă pentru calculul constantelor cinetice cu relațiile :

$$\frac{E}{R} = -\frac{T_0}{1 - \frac{T_0}{T_f}} \left(\ln \frac{\ln 0{,}99}{\ln 0{,}01} - 2 \ln \frac{T_0}{T_f} \right) \quad (1)$$

respectiv :

$$\frac{K_0}{W_{inc}} = -\frac{\ln 0{,}99}{\frac{R}{E} T_0^2 e^{-E/RT_0}} \quad (2)$$

Trebuie precizat că relaţiile (1) şi (2) sînt stabilite în ipoteza că drept început al degajării volatilelor se consideră momentul în care 1% din substanţa iniţială a dispărut, iar drept sfîrşit — momentul în care 99 % din materiile volatile s-au degajat.

Din relaţiile (1) şi (2) pentru $T_0 = 493$ K şi $T_f = 1093$ K rezultă $E/R = 4072{,}8$ K şi $K_0/W_{inc} = 0{,}6519$ K. Reprezentînd aceste rezultate în diagrama $E/R = f(T_0)$ şi $\ln K_0/W_{inc} = f(T_0)$, trasată de Zelkowski [2] se constată că punctele figurative se plasează pe curbele corespunzătoare cărbunelui brun (fig. 3).

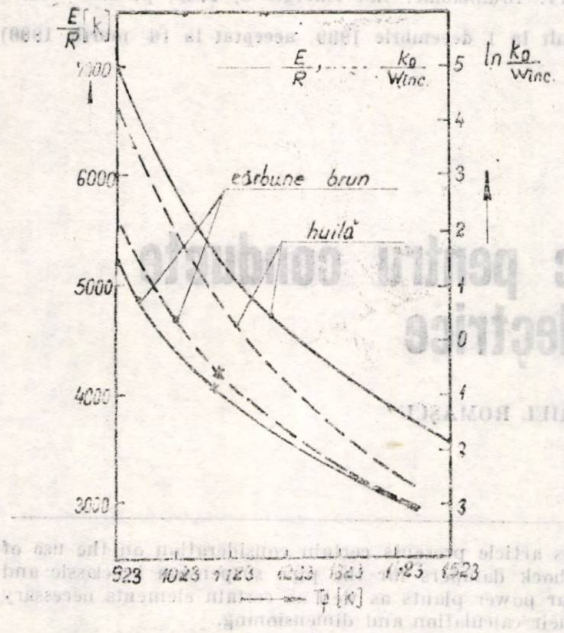


Fig. 3. Constantele cinetice ale vitezei de degajare a volatilelor pentru o huilă şi un cărbune brun [2].

În formularea relaţiilor (1) şi (2) rapoartele E/R şi K_0/W_{inc} sînt în funcţie doar de T_0 şi T_f. Într-o astfel de formulare, aparent dimensiunea particulei şi tipul cărbunelui nu joacă nici un rol. În realitate, alături de temperatura focarului, ele sînt hotărîtoare în ceea ce priveşte vitezele de încălzire, respectiv mărimea factorilor cinetici.

În general s-a acceptat că aprinderea volatilelor are loc la temperatura T_0 la care începe degajarea acestora. În realitate, aprinderea se produce la o temperatură ceva mai mare T_A, care se poate determina grafic (fig. 4) ducînd prin T_0 curba T' paralelă cu T.

Cantitatea de volatile degajată pînă în momentul aprinderii se poate stabili din relaţia :

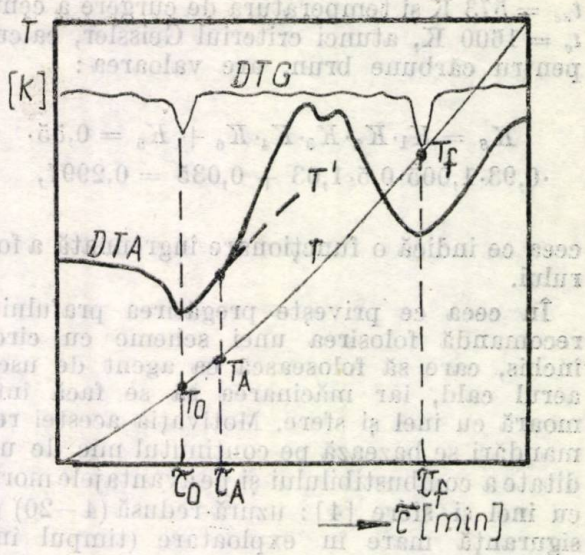


Fig. 4. Determinarea pe cale grafică a temperaturii de aprindere a volatilelor.

$$\frac{m_{VA}}{m_0} = \exp\left[-\frac{K_0}{W_{inc}}\frac{RT_A^2}{E}\exp\left(-\frac{E}{R\cdot T_A}\right)\right] \tag{3}$$

Pentru situaţia analizată $m_0 = 200$ mg, $T_A = 513$ K, rezultă $m_{VA} = 2{,}98$ mg.

Dacă se compară valoarea temperaturii începutului degajării volatilelor, determinată din derivatogramă $T_0 = 493$ K, cu cele considerate de Zelkovski ca valori minime (493 K pentru cărbune brun şi 553 K pentru huilă) se poate trage concluzia că şi din acest punct de vedere mixtele de huilă de la Petrila se apropie mai mult de un cărbune brun decît de o huilă. Această afirmaţie este întărită şi prin conţinutul ridicat de volatile raportat la masa combustibilă $V^{mc} = 56{,}8$ %, respectiv prin conţinutul ridicat de cenuşă raportat la proba iniţială $A^i = 47{,}8$ %, stabilită pentru umiditatea de îmbibare $W_i^i = 7{,}08$ %.

Valorile criteriilor de aprindere $K_a = V^i/C_f^i = 1{,}315$ şi de intensitate a arderii $K_i = A^i/C_f^i = 2{,}95$ indică faptul că mixtele de huilă de la Petrila au capacitate ridicată de aprindere, dar intensitate redusă de ardere.

Creşterea temperaturii în camera de combustie este desigur un mijloc posibil de intensificare a arderii mixtelor de huilă şi comportă luarea măsurilor corespunzătoare atît în faza de proiectare, cît şi în cea de exploatare. Totuşi nu se recomandă, cel puţin în cazul de faţă, utilizarea unui focar cu evacuarea cenuşii în stare lichidă, întrucît criteriul Geissler [5] are valori mici. Aşa, de exemplu, dacă se consideră un focar ciclon de tip american, care deserveşte un cazan cu un debit unitar de 19,44 kg/s (70 t/h), temperatura aerului cald

$t_{ac} = 573$ K şi temperatura de curgere a cenuşii $t_c = 1600$ K, atunci criteriul Geissler, calculat pentru cărbune brun, are valoarea:

$$K_S = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_6 + K_5 = 0{,}55 \cdot$$
$$\cdot 0{,}93 \cdot 1{,}005 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}03 + 0{,}035 = 0{,}2997, \quad (4)$$

ceea ce indică o funcţionare îngreunată a focarului.

În ceea ce priveşte pregătirea prafului se recomandă folosirea unei scheme cu circuit închis, care să folosească ca agent de uscare aerul cald, iar măcinarea să se facă într-o moară cu inel şi sfere. Motivaţia acestei recomandări se bazează pe conţinutul mic de umiditate a combustibilului şi pe avantajele morilor cu inel şi sfere [4]: uzură redusă (4—20) g/t, siguranţă mare în exploatare (timpul între două reparaţii 4000 — 6000 ore), consum specific de energie redus (6 —9) kWh/t şi gabarit mai redus, în comparaţie cu morile ventilator (MV sau MVC).

Bibliografie

[1] Chercea, G. ş. a. *Interdependenţa dintre caracteristicile cărbunelui, procesul de uscare şi măcinare şi stabilitatea arderii.* În: Energetica, 36, 1988, nr .7, p. 301 —306.

[2] Zelkowski, I. *Kohlenverbrennung* VGE — Kraftwerkstechnik Band 8, Essen, p. 301—306.

[3] Goleşteanu, I. ş. a. *Posibilităţi de interpretare a derivatogramelor prafului de cărbune.* În: Energetica, nr. 9, Bucureşti, 1987.

[4] Pănoiu, N. ş. a. *Instalaţii de ardere a combustibililor solizi.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.

[5] Geissler, T. *Die Eignung in-und ausländischer Brennstoffe für den Betrieb von Schmelzfeuerungen, Teil I. Steinkohle.* In: Energie 11,1959, p. 526—534, *Teil II. Braunkohle.* In: Energie 8, 1960, p. 336—348.

(Primit la 1 decembrie 1989, acceptat la 16 martie 1990)

Suporţi amortizori de şoc pentru conducte în centrale electrice

Ing. RADU RĂŞCANU, Ing. GABRIEL ROMAŞCU*

Descriptori: conducte, seism, centrală nucleară, amortizoare de şoc

În cadrul articolului se prezintă unele consideraţii privind utilizarea amortizorilor de şoc, pentru suspendarea conductelor în centralele electrice clasice şi nucleare, precum unele elemente de calcul şi dimensionare a acestora.

This article presents certain consideration on the use of the shock dampers for the pipe suspension in classic and nuclear power plants as well as certain elements necessary for their calculation and dimensioning.

Introducere

În centralele electrice conductele calde şi reci care leagă între ele diverse echipamente sînt suspendate, ghidate sau sprijinite de structura clădirii.

În mod normal şi în mod accidental conductele se deformează termic şi mecanic şi transmit clădirii eforturi statice şi dinamice. Eforturile dinamice cele mai puternice au loc accidental în cazul unor lovituri de berbec, în cazul cutremurelor şi în cazul unor ruperi de conducte cu fluide sub presiune.

În timpul unui cutremur conductele se deplasează în mod normal independent de structura clădirii, producînd vibraţii puternice care pot conduce la crăpături sau chiar la ruperea lor. Pentru evitarea acestor fenomene nedorite şi asigurarea protecţiei conductelor s-au proiectat şi executat amortizorii de şoc (antiseismici).

Amortizorul de şoc este astfel conceput încît, atunci cînd apare o perturbaţie cu o valoare mai mare decît o anumită valoare prestabilită, care tinde să accelereze conducta într-o anumită direcţie, în amortizor să ia naştere o forţă de frînare care să limiteze deplasarea conductei. Amortizorul devine în această situaţie rigid, solidarizînd conducta de structură.

Întrucît fenomenele seismice sînt aleatoare, iar amortizorul este montat permanent în instalaţie, acesta trebuie să permită dilatarea termică a conductelor la variaţii ce au loc în proces (variaţii de sarcină, porniri, opriri etc.).

Perturbaţiile suplimentare ce pot solicita aceşti amortizori sînt acelea datorită loviturilor de berbec sau cele datorate unor eşapări.

* Ing. Radu Răşcanu, ing. Gabriel Romaşcu — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, Bucureşti.

Din punct de vedere constructiv s-au dezvoltat două tipuri de amortizori de şoc : mecanici şi hidraulici.

În cele ce urmează vor fi prezentaţi numai amortizorii de şoc mecanici.

1. Descrierea amortizorului mecanic de şoc

Un amortizor mecanic de şoc (fig. 1) este alcătuit din doi cilindri telescopici, unul interior ancorat de o conductă şi un altul exterior cuplat la elementul de structură.

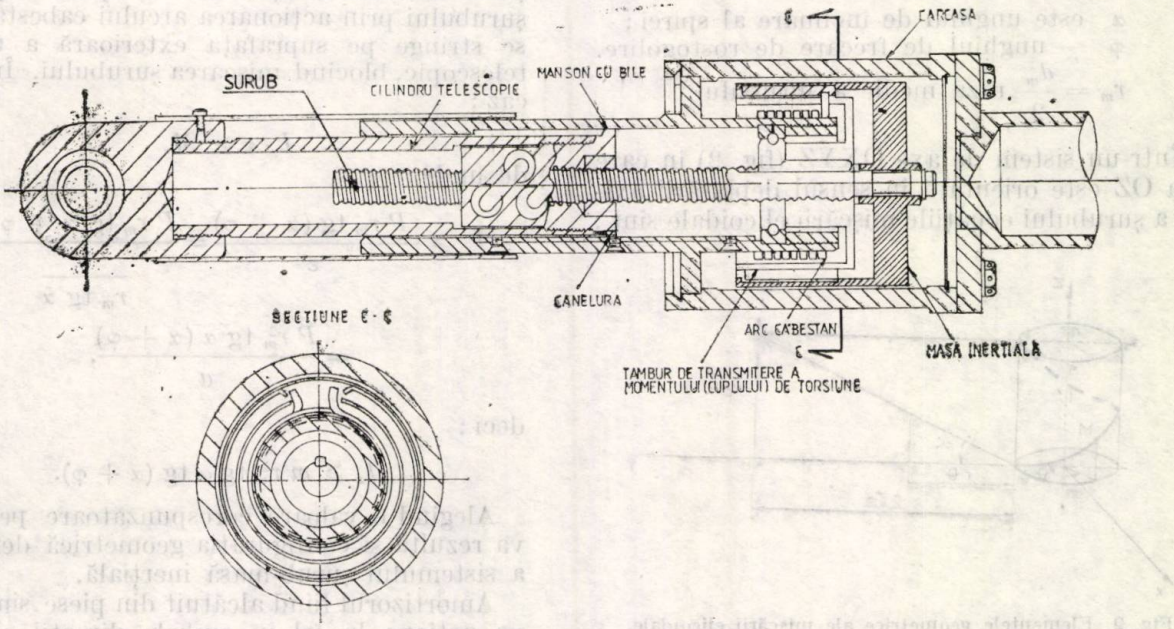


Fig. 1. Amortizor mecanic.

Pentru a nu se micşora gradele de libertate ale deplasărilor de rotaţie ale conducţei cuplajul între conductă şi amortizor este de tip sferic.

Partea principală a amortizorului o constituie şurubul cu bile ghidat la unul din capete de un manşon solidarizat în cilindrul telescopic interior, iar la celălalt de un rulment cu bile fixat în cilindrul telescopic exterior. Şurubul cu bile are montat în capătul său o masă inerţială care prin intermediul unui tambur de transmisie a momentului de rotaţie strînge pe suprafaţa exterioară a tubului telescopic exterior un arc cabestan. Tot acest dispozitiv de transmitere a cuplului de rotaţie, respectiv de frînare este închis într-o carcasă care se cuplează direct la elementul de structură.

2. Modul de funcţionare

2.1. Comportarea amortizorului în regim normal de funcţionare al sistemului de conducte

În mod normal, aşa după cum este montat, amortizorul nu preia eforturi mecanice din partea sistemului de conducte.

În cazul unor deplasări lente ale conductei (schimbarea sarcinii blocului, regimuri tranzitorii în procesul de încălzire-răcire) amortizorul nu se opune deplasării acesteia deoarece rotirea masei inerţiale provocată de deplasarea liniară a cilindrilor telescopici se face cu o acceleraţie practic nulă. Simetria amortizorului permite deplasările bilaterale.

2.2. Comportarea amortizorului în caz de seism

În cazul unor deplasări bruşte ale conductei cu acceleraţii, depăşind anumite limite prestabilite se produce rotirea masei inerţiale cu o acceleraţie mare. Prin dispozitivul de transmitere a momentului de rotaţie se strînge arcul cabestan pe cilindrul telescopic. Acesta are ca efect rigidizarea suportului prin blocarea deplasării relative a celor doi cilindri telescopici, solidarizînd astfel conducta cu partea de construcţie de care este fixat suportul.

3. Principii de calcul

Atît şurubul, cît şi manşonul au practicate canale elicoidale în care se deplasează bilele în circuit închis. Bilele care ies din filetul şurubului sînt readuse în circuit printr-unul sau mai multe canale de reîntoarcere.

În aceste condiţii frecarea de alunecare este înlocuită prin frecare de rostogolire. Randamentul transformării mişcării de translaţie în mişcare de rotaţie depăşeşte 80%, crescînd cu înclinarea spirei. Capacitatea de încărcare a sistemului creşte cu diametrul şurubului, numărul de spire şi diametrul bilelor.

Forţa P ce acţionează axial şurubul este independentă de sarcinile din sistemul de con-

ducte, depinzînd numai de masa m a șurubului (inclusiv masa inerțială) și de accelerația acestuia:

$$P = ma.$$

Din acțiunea lui P rezultă o forță tangențială H și un moment de rotație M:

$$H = P \operatorname{tg}(\alpha + \varphi),$$

$$M = P\, r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi),$$

unde:

α este unghiul de înclinare al spirei;
φ — unghiul de frecare de rostogolire.
$r_m = \frac{d_m}{2}$ raza medie a șurubului.

Într-un sistem de axe OXYZ (fig. 2) în care axa OZ este orientată în sensul deplasării axiale a șurubului ecuațiile mișcării elicoidale sînt:

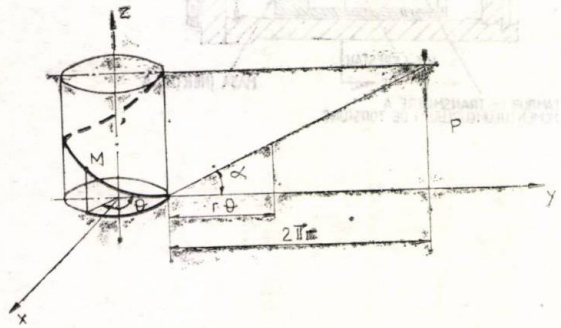


Fig. 2. Elementele geometrice ale mișcării elicoidale.

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = r\, \theta \operatorname{tg} \alpha,$$

unde:

θ este deplasarea unghiulară a șurubului.

Vitezele de deplasare ale șurubului sînt:

$$\dot{x} = -\, r_m\, \dot{\theta} \sin\theta = -\, r_m\, \omega \sin\theta$$

$$\dot{y} = r_m\, \dot{\theta} \cos\theta = r_m\, \omega \cos\theta$$

$$\dot{z} = r_m\, \dot{\theta} \operatorname{tg} \alpha = r_m\, \omega \operatorname{tg} \alpha,$$

iar accelerațiile

$$\ddot{x} = -\, r_m\, \ddot{\theta} \sin\theta - r_m\, \dot{\theta}^2 \cos\theta = -\, r_m\, \varepsilon \sin\theta - r_m\, \omega^2 \cos\theta,$$

$$\ddot{y} = r_m\, \ddot{\theta} \cos\theta - r_m\, \dot{\theta}^2 \sin\theta = r_m\, \varepsilon \cos\theta - r_m\, \omega^2 \sin\theta,$$

$$\ddot{z} = r_m\, \ddot{\theta} \operatorname{tg} \alpha = r_m\, \varepsilon \operatorname{tg} \alpha,$$

unde:

$\dot{\theta} = \omega$ viteza unghiulară a șurubului;
$\ddot{\theta} = \varepsilon$ accelerația unghiulară a șurubului;
$\ddot{z} = a$ adică tocmai accelerația cu care se deplasează șurubul și se limitează uzual la o valoare:
$a = 0{,}02\ g$, unde g este accelerația gravitațională.

La depășirea acestei accelerații intră în funcțiune sistemul inerțial care se opune deplasării șurubului prin acționarea arcului cabestan care se strînge pe suprafața exterioară a tubului telescopic, blocînd mișcarea șurubului. În acest caz:

$$I_z \cdot \varepsilon \geqslant M,$$

de unde:

$$I_z \geqslant \frac{P\, r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}{\varepsilon} = \frac{P\, r_m \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}{\frac{\ddot{z}}{r_m \operatorname{tg} \alpha}} =$$

$$= \frac{P\, r_m^2 \operatorname{tg} \alpha\, (\alpha + \varphi)}{a},$$

deci:

$$I_z \geqslant m\, r_m^2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi).$$

Alegînd o valoare corespunzătoare pentru I_z va rezulta și configurația geometrică definitivă a sistemului șurub-masă inerțială.

Amortizorul fiind alcătuit din piese simetrice, va acționa la fel în ambele direcții ale unei OZ.

Forța tangențială H aplicată unuia din capetele arcului cabestan va strînge arcul pe suprafața exterioară a tubului telescopic exterior producînd frînarea mișcării cu o forță:

$$N = H\, e^{\mu\gamma},$$

unde:

μ este coeficientul de frecare între arc și corp;
γ — unghiul de înfășurare în radiani;
e — baza logaritmilor naturali.

Pentru ca forța de frînare să fie cît mai mare este necesar ca, pe de o parte, coeficientul de frecare să fie cît mai mare, iar pe de alta ca numărul spirelor arcului să fie cît mai mare.

Amortizorul de șoc nu preia în mod normal sarcini din partea sistemului de conducte. În cazul cînd totuși cedează, unul din suporții portanți între care este montat trebuie să preia întreaga sarcină ce-i revine în această situație fără ca să flambeze. Aceasta este de fapt și sarcina pentru care el se recomandă. Deci:

$$P_f = \frac{\Pi^2 E\, I_{min}}{l^2},$$

unde :

P_f este forţa critică de flambaj ;
E — modulul de elasticitate a lui Young ;
l — lungimea amortizorului (distanţa între cele două puncte de articulaţie) ;
I_{min} — momentul minim de inerţie al corpului amortizorului.

Impunînd o anumită valoare pentru P_f se poate determina I_{min}, pe baza căruia se pot stabili apoi dimensiunile geometrice ale secţiunii corpului amortizorului (de obicei inelară).

Concluzii

Suporţii amortizori de şoc mecanici au fost dezvoltaţi de unele firme cu experţi în domeniu, datorită unor avantaje în comparaţie cu alte tipuri, de exemplu faţă de cei hidraulici.

Acest tip de amortizor pune în evidenţă o serie de avantaje, astfel :

— construcţie simplă şi robustă (fiabilitate ridicată) ;
— forţe de acţionare mici ;
— rezistenţa mecanică la temperaturi ridicate ;
— întreţinere uşoară (nu necesită ungere) ;
— nu necesită verificări prea dese.

Ultimele două avantaïe au consacrat suporţii amortizori de şoc mecanici în centralele nucleare, putînd fi amplasaţi în zone puternic radioactive, cu acces limitat. Asemenea tipuri de suporţi sînt prevăzuţi a se monta şi în cadrul instalaţiilor din CNE Cernavodă.

Bibliografie

[1] Manea Gh. ş.a. *Organe de maşini*, vol. II. Editura Tehnică, Bucureşti, 1958.

[2] Buzdugan, Gh. *Rezistenţa materialelor*. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1964.

[3] William, S. Wright Jr. *Pipe snubbers protect against earthquakes*, Metal progress, July, 1978.

[4] Glauser, E. J. *Pacific Scientific — Mechanical snubbers solve severe maintenance problem at nuclear plant*. În : Power engineering, November, 1977, Volume B1, number 11, pages 108 — 109.

[5] Glauser, J. *Application of mechanical snubbers for seismic restraint*. În : Nuclear engineering international, May, 1978.

[6] Glauser, E. *Aerospace technology applied to nuclear power plant problems*.

(Primit la 14 martie 1990, acceptat la 25 aprilie 1990)

Posibilități de diagnosticare a defectelor în instalațiile de înaltă tensiune

Asist. ing. FLORIN MUNTEANU, conf. dr.ing. DUMITRU IVAS,prof. dr.ing. LAURIAN PREDA, conf. dr. ing. PETRU LEONTE, asist. ing. EMILIAN FURNICĂ*

Descriptori: instalații de înaltă tensiune, defecte

Autorii analizează situațiile posibile în care prima trecere prin zero a curentului de scurtcircuit total are loc după un timp mai mare decît cel de declanșare a întrerupătorului.

Se propune o metodă de diagnosticare diferențială a tipului de defect, bazată pe analiza calitativă a componentelor aperiodice pe faze ale curentului de scurtcircuit.

Se fac, de asemenea, cîteva considerații asupra posibilităților de utilizare a bobinei Rogowski în cadrul acestei metode. Considerațiile teoretice sînt concretizate într-o schemă electrică de principiu, care permite detectarea tipului de defect și stabilirea distanței la care s-a produs.

The authors analyse the conditions when is possibile that the first "zero passing" time of teh short-circuit current is greator than operatior time of teh circuit-breaker.

On suggest a new method for the differential faults diagnosis based on initial values of the aperiodic components (i_{aR}, i_{aS}, i_{aT}) of the fault current.

The raport describes some qualities of Rogowski coil for the method.

The theoretical considerations are materialized in technical solutions which are also presented.

Introducere

Implementarea tehnicilor digitale sau hibride pentru supravegherea și protecția instalațiilor electroenergetice de înaltă tensiune s-a făcut pe măsură ce viteza, precizia de calcul și siguranța în funcționare a acestora a justificat utilizarea lor. La aceste condiții s-a adăugat și aceea a preluării mai multor funcțiuni, noi sau îndeplinite de echipamente clasice.

Una din aceste funcțiuni este detectarea și rezolvarea situațiilor în care poate surveni fenomenul de „deplasare" a curentului de defect pe o linie electrică, situație în care, pe durata mai multor perioade, aceasta nu trece prin zero. Fenomenul poate provoca solicitarea suplimentară a întrerupătorului care declanșează defectul.

Detectarea condițiilor de apariție a „deplasării" curentului, dependente de tipul de defect și regimul anterior de funcționare, implică o analiză rapidă a unui semnal complex, reprezentat de curenții de defect pe cele trei faze în momentul imediat următor producerii defectului. În [1] și [2] sînt prezentate în detaliu condițiile apariției fenomenului.

Pornind de la ideea utilizării informațiilor asupra componentelor aperiodice pe faze și în alt scop decît cel al detectării condițiilor de „deplasare" a curentului și de comandă secvențială a întrerupătorului, autorii au stabilit în [3] o metodă de diagnosticare diferențială a defectelor pe o linie electrică de înaltă tensiune.

În prezenta lucrare se prezintă îmbunătățirile aduse metodei, concretizată într-o schemă electrică de principiu.

Se fac, de asemenea, cîteva considerații asupra transformatoarelor de curent fără miez magnetic (Rogowski), ale căror caracteristici de funcționare în regim tranzitoriu le recomandă pentru furnizarea semnalelor de intrare în complexul pentru comanda secvențială a întrerupătorului, detectarea tipului și a locului de defect.

1. Utilizarea transformatoarelor cu miez aer (TMA) pentru măsurători în regim tranzitoriu de scurtcircuit

Analiza curentului de scurtcircuit pe cele trei faze pe durata regimului tranzitoriu presupune transformatoare de curent care să transmită în secundar, cu erori de fază și amplitudine cît mai mici, curentul din circuitul primar.

TMA sînt cunoscute sub denumirea de bobine Rogowski (fig. 1) și folosite în instalații pentru măsurători de precizie.

* Asist. ing. Florin Munteanu, conf. dr. ing. Dumitrn Ivas, prof. dr. ing. Laurian Preda, conf. dr ing. Petrn Leonte, asist. ing. Emilian Furnică — Facultatea de Electrotehnică, Institutul Politehnic, Iași

Semnalul obținut în secundar poate fi prelucrat (integrare numerică) în condiții de precizie predeterminată folosind subrutine de analiză în timp real pe sisteme cu microprocesoare rapide.

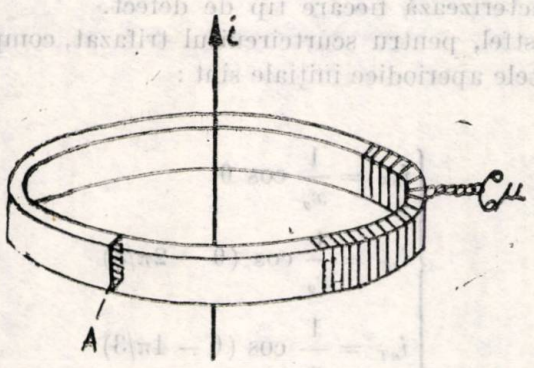


Fig. 1. Bobina Rogowski — principiul de măsurare: A — secțiunea bobinei; μ — constanta de cimp magnetic; L — lungimea bobinei; i — curentul din circuitul primar.

Ca urmare, se prezintă în continuare erorile datorate exclusiv TMA.

Tensiunea care apare la bornele secundare ale unui TMA ideal cînd circuitul primar este parcurs de curentul de scurtcircuit este [4]:

$$u_{TMAideal} = \frac{R_1}{R_{TMA} + R_1} MI_{max} [\omega \cos(\omega t + \varphi) + \alpha \sin\varphi e^{-\alpha t}], \quad (1)$$

iar în cazul unui TMA real este:

$$u_{TMAreal} = \frac{R_1}{R_{TMA} + R_1} MI_{max} [n_1 \cos(\omega t + \varphi - \psi) + m_1 \alpha \sin\varphi e^{-\alpha t}], \quad (2)$$

unde:

$$n_1 = 1/(1 + \omega\tau_L)^2; \quad m_1 = 1/(1 - \alpha\tau_L)^2,$$
$$\tau_L = L_{TMA}/(R_{TMA} + \rho); \quad \mathrm{tg}\psi = 2\omega\tau_L/(1 + (\omega\tau_L))^2, \quad (3)$$

R_1 — rezistența de sarcină a TMA;

L_{TMA}, R_{TMA} — inductivitatea și rezistența înfășurării secundare a TMA;

$\rho = \sqrt{L_{TMA}/C}$; C — capacitatea echivalentă a înfășurării secundare a TMA, inclusiv cea a conductorului de legătură cu sarcina;

$\alpha = 1/T_a$; T_a — constanta de amortizare a componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit.

1.1 Eroarea unghiulară

Eroarea unghiulară este dată de ψ, care depinde de parametrii TMA conform relației (3) și de ω. În schemele practice, totdeauna $\omega\alpha_L < 0{,}05$. În acest caz se ia $\mathrm{tg}\psi = 2\omega\tau_L$. Pentru unghiuri mai mici $\mathrm{tg}\psi = \psi$ și se poate scrie $\tau_L = 0{,}5\ \psi/\omega = 0{,}5\ \tau\psi$ sau $\tau_\psi = 2\tau_L$. (4)

1.2. Eroarea de amplitudine

În cazul în care $\tau_L < 0{,}05$ rezultă, pentru 50 Hz, $\psi = 5°$ și $\tau_\psi = 280$ μs. Cu o precizie de 0,2% se poate lua $n_1 = 1$, iar m_1 diferă foarte puțin de 1. În cazurile practice $\alpha\tau_L < 1$. Se poate scrie:

$$m_1 = 1 + 2\alpha\tau_L = 1 + \alpha\tau_\psi. \quad (5)$$

Pentru valorile reale ale lui α și $\tau_\psi < 50$ μs eroarea de amplitudine nu depășește 0,5%. Cu micșorarea lui α, eroarea se micșorează, or tocmai aceste cazuri interesează în condițiile apariției fenomenului de „deplasare" a curentului.

O concluzie importantă este că, dacă parametrii TMA și ai schemei de măsurare se aleg astfel ca să se asigure o eroare unghiulară mică, rel. (4), atunci și eroarea de amplitudine scade, rel. (5).

1.3. Avantajele utilizării TMA pentru măsurarea curenților de scurtcircuit

Succint, avantajele sînt:

— utilizarea lor nu este limitată de valoarea curentului de măsurat;

— oferă facilități de montare și întreținere;

— construcția jumelată permite montarea ușoară în instalații existente;

— comportare bună în regim dinamic;

— insensibilitate la penetrația cîmpurilor externe perturbatoare;

— simplitate constructivă și cost redus.

2. Diagnoza diferențială a defectelor

Se are în vedere stabilirea tipului defectului, a distanței față de locul de măsurare la care s-a produs, precum și acționarea secvențială, dacă este cazul, a întrerupătorului care declanșează defectul.

2.1. Detectarea tipului de defect și a condițiilor de „deplasare" a curentului

Una din situațiile care provoacă „deplasarea" curentului este cea în care valoarea inițială a componentei aperiodice o depășește pe cea a componentei periodice de frecvență fundamentală.

În figura 2 se prezintă schema luată în considerare pentru determinarea acestor situații, iar în tabelul 1 sînt indicate condițiile de

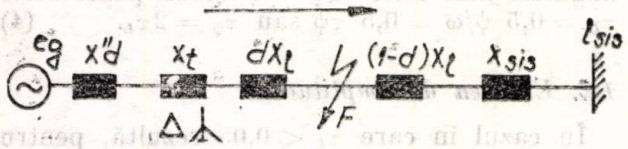


Fig. 2. Schema monofilară echivalentă considerată în calculul condițiilor de apariție a fenomenului de „deplasare" a curentului: e_g, x''_d — t.e.m. și reactanța supratranzitorie a sursei; x_t — reactanța echivalentă a transformatorului ridicător; x_l — reactanța liniei.

derării generatorului printr-o t.e.m. în spatele reactanței supratranzitorii, iar tensiunea în punctul de defect, anterior acestuia, este 1.

Expresiile valorilor inițiale ale componentelor aperiodice pe faze, funcție de θ, au fost prezentate în [3], unde s-au stabilit și condițiile ce caracterizează fiecare tip de defect.

Astfel, pentru scurtcircuitul trifazat, componentele aperiodice inițiale sînt:

$$\begin{cases} i_{aR} = \dfrac{1}{x_g}\cos\theta \\ i_{aS} = \dfrac{1}{x_g}\cos(\theta - 2\pi/3) \\ i_{aT} = \dfrac{1}{x_g}\cos(\theta - 4\pi/3) \end{cases} \tag{8}$$

Tabelul I

Tipul defectului	Condițiile de apariție a fenomenului de „deplasare" a curentului		
	Faza R	Faza S	Faza T
Scurtcircuit trifazat simetric (R—S—T)	$P^2 + (Q - 1/x_g)^2 < 1/x_g^2$	Idem cu faza R	Idem cu faza R
Scurtcircuit bifazat (S—T)	Nu apare „deplasarea" curentului	$(P + \sqrt{3}/4x_g)^2 + (Q + 3/4x_g) < 3/4x_g^2$	$(P - \sqrt{3}/4x_g)^2 + (Q + 3/4x_g)^2 < 3/4x_g^2$
Scurtcircuit monofazat (R—P)	$P^2 + [Q + Y_g(2K + K_0)]^2 < Y_g^2(2K + K_0)^2$	$[P + \sqrt{3}/2 \cdot Y_g(K_0 - K)]^2 + [Q - 1/2 \cdot Y_g(K_0 - K)]^2 < Y_g^2(K_0 - K)^2$	$[P - \sqrt{3}/2 \cdot Y_g(K - K_0)]^2 + [Q - 1/2 \cdot Y_g(K_0 - K)]^2 < Y_g^2(K_0 - K)^2$
Scurtcircuit bifazat cu punere la pămînt (S—T—P)	$P^2 + [Q - Y_{gg}(K_0 - K)]^2 < Y_{gg}^2(K_0 - K)^2$	$\{P + \sqrt{3}/4[KY - (2K_0 + K)Y_{gg}]\}^2 + \{Q + 1/4 \cdot [3KY - (2K_0 + K) \cdot Y_{gg}]\}^2 < 3/4 \cdot [K^2Y^2 + (2K_0 + K)^2Y_{gg}^2]$	$\{P - \sqrt{3}/4[KY - (2K_0 + K)Y_{gg}]\}^2 + \{Q + 1/4\,[3KY - (2K_0 + K) \cdot Y_{gg}]\}^2 < 3/4 \cdot [K^2Y^2 + (2K_0 + K)^2Y_{gg}^2]$

apariție a fenomenului pe cele trei faze (faza R de referință), în funcție de tipul defectului, în situația în care unghiul θ, ce caracterizează faza inițială a tensiunii, este cel corespunzător valorii maxime a componentei aperiodice.

Se fac notațiile:

$$x_g = x''_d + x_t + \mathrm{d}x_l, \tag{6}$$

$$x_s = (1 - \mathrm{d})x_l + x_{sis} \tag{7}$$

P și Q sînt fluxurile de putere activă și reactivă prin linie înainte de producerea defectului. Calculul s-a făcut în ipoteza neglijării rezistențelor elementelor circuitului, a consi-

În cazul defectului bifazat, componentele aperiodice inițiale pe faze au forma:

$$i_{aR} = 0;\ i_{aS} = \frac{\sqrt{3}}{2x_g}\sin\theta;\ i_{aT} = \frac{\sqrt{3}}{2x_g}\sin\theta, \tag{9}$$

iar în cazul celui monofazat:

$$\begin{cases} i_{aR} = (2K\,Y_g + K_0\,Y_g)\cos\theta \\ i_{aS} = (K_0\,Y_g - KY_g)\cos\theta \\ i_{aT} = (K_0Y_g - KY_g)\cos\theta \end{cases} \tag{10}$$

unde: $K = x/x_g$; $x = x_g x_s/(x_g + x_s)$; $Y_g = 1/(2x + x_0)$; $x_0 = x_{g0}x_{s0}/(x_{g0} + x_{s0})$; $K_0 = x_0/x_{g0}$;

Pentru un defect bifazat cu punere la pămînt expresiile componentelor aperiodice inițiale sînt :

$$\begin{cases} i_{aR} = Y_{gg}(K - K_0)\cos\theta \\ i_{aS} = -Y_{gg}(K_0 + K/2)\cos\theta + \dfrac{\sqrt{3}}{2}\sin\theta \\ i_{aT} = -Y_{gg}(K_0 + K/2)\cos\theta - \dfrac{\sqrt{3}}{2}\sin\theta \end{cases} \tag{11}$$

unde :

$$Y_{gg} = 1/(x + 2X_0);\ Y = 1/x.$$

Condițiile ce caracterizează fiecare tip de defect sînt următoarele :

$$i_{aR} + i_{aS} + i_{aT} = 0 \quad (\text{R}-\text{S}-\text{T}) \tag{12}$$

$$i_{aR} = 0 \text{ și } i_{aS} + i_{aT} = 0 \quad (\text{S}-\text{T}) \tag{13}$$

$$i_{aS} = i_{aT} \quad (\text{R}-\text{P}) \tag{14}$$

$$i_{aR} \neq i_{aS} \neq i_{aT} \quad (\text{S}-\text{T}-\text{P}) \tag{15}$$

Condițiile (12), (13), (14) și (15) permit diagnoza diferențială a defectelor, cu excepția unor valori particulare ale unghiului θ.

În lucrarea [3] autorii au prezentat aceste cazuri particulare, evidențiind situațiile de echivoc în detectarea tipului de defect care apar pentru $\theta = k\pi/2$, $k = 0, 1, 2...$ și care au fost rezolvate analizînd și alte caracteristici calitative ale fiecărui tip de scurtcircuit.

2.2. Calculul distanței de defect

Există mai multe posibilități de determinare a distanței la care s-a produs defectul [5, 6] și altele.

În [7] se prezintă o metodă interesantă de calcul al distanței d de la locul de măsurare pînă în punctul în care a avut loc defectul.

Metoda ia în considerare o rețea a cărei schemă trifazată este indicată în figura 3. Arcul de la locul defectului este considerat, din momentul apariției defectului și pînă la identificarea acestuia (milisecunde), un proces staționar și modelat prin rezistențele R_1, R_2,... R_6.

În figura 3 și în cele ce urmează, indicele M se referă la mărimea măsurată, iar F la mărimea din punctul de defect.

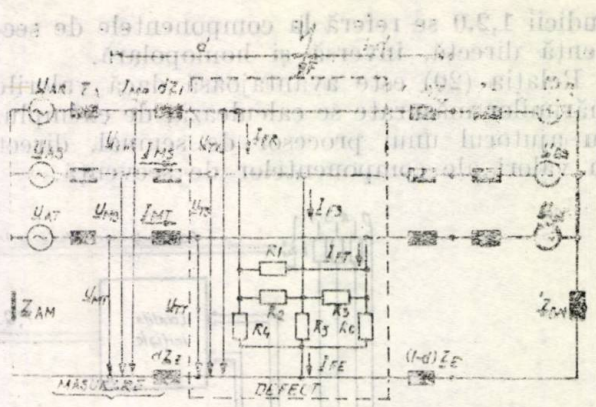


Fig. 3. Schema echivalentă a rețelei considerate pentru calculul distanței de defect.

Metoda stabilește relațiile de legătură între valorile tensiunilor și curenților din punctul de măsurare și cele de la locul defectului. Aceste relații sînt :

$$\begin{vmatrix} \underline{I}_{FR} \\ \underline{I}_{FS} \\ \underline{I}_{FT} \end{vmatrix} = (1 + r_1) \begin{vmatrix} \Delta\underline{I}_{MR} \\ \Delta I_{MS} \\ \Delta I_{MT} \end{vmatrix} + (\underline{r}_0 - \underline{r}_1)\cdot\Delta I_{M0} \tag{16}$$

$$\underline{I}_{FE} = 3(1 + \underline{r}_0)\cdot\Delta I_{M0} \tag{17}$$

$$\begin{vmatrix} \underline{U}_{FR} \\ \underline{U}_{FS} \\ \underline{U}_{FT} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{U}_{MR} \\ \underline{U}_{MS} \\ \underline{U}_{MT} \end{vmatrix} - \mathrm{d}\cdot Z_1 \begin{vmatrix} \underline{I}_{MR} \\ \underline{I}_{MS} \\ \underline{I}_{MT} \end{vmatrix} - 3\underline{I}_{M0}\cdot\mathrm{d}\cdot\underline{Z}_E \tag{18}$$

În relațiile de mai sus r_0 și r_1 sînt coeficienți ce depind de d și care s-au calculat folosind schemele de secvență directă, inversă și homopolară ale rețelei din figura 3, caracteristice fiecărui tip de defect.

Cu Δ s-au notat variațiile măsurate ale mărimilor respective în regim de defect față de regimul normal.

Relația la care se ajunge este :

$$d = \frac{Im[\overline{\underline{U}}_{MR}\underline{I}_{FR} + \overline{\underline{U}}_{MS}\underline{I}_{FS} + \overline{\underline{U}}_{MT}\underline{I}_{FT}]}{Im[\overline{\underline{Z}}_L(\overline{\underline{I}}_{MR}\underline{I}_{FR} + \overline{\underline{I}}_{MS}\underline{I}_{FS} + \overline{\underline{I}}_{MT}\underline{I}_{FT}) + 3\overline{\underline{Z}}_E\overline{\underline{I}}_{M0}(\underline{I}_{FR} + \underline{I}_{FS} + \underline{I}_{FT})]}, \tag{19}$$

care, datorită dependenței neliniare a curenților de defect $\underline{I}_{FR}$, $\underline{I}_{FS}$, $\underline{I}_{FT}$ de d, nu se poate rezolva ușor ,direct.

Dacă se utilizează componentele simetrice, relația (19) devine :

$$d = \frac{Im(\overline{\underline{U}}_{M1}\underline{I}_{F1} + \overline{\underline{U}}_{M2}\underline{I}_{F2} + \overline{\underline{U}}_{M0}\underline{I}_{F0})}{Im[\overline{\underline{Z}}_{L1}(\overline{\underline{I}}_{M1}\underline{I}_{F1} + \overline{\underline{I}}_{M2}\underline{I}_{F2}) + \overline{\underline{Z}}_{L0}\overline{\underline{I}}_{M0}\underline{I}_{F0}}. \tag{20}$$

Indicii 1,2,0 se referă la componentele de secvență directă, inversă și homopolară.

Relația (20) este avantajoasă dacă valorile mărimilor măsurate se calculează, de exemplu, cu ajutorul unui procesor de semnal, direct în valori ale componentelor de secvență.

figura 4 se aleg ținînd cont de viteza și (sau) precizia necesare pentru determinarea mărimilor de la ieșirea fiecărui bloc. Astfel, blocurile 1,4,7 se realizează în structură hibridă, iar 2,3, 5 și 6 fac parte din softul unui sistem de calcul.

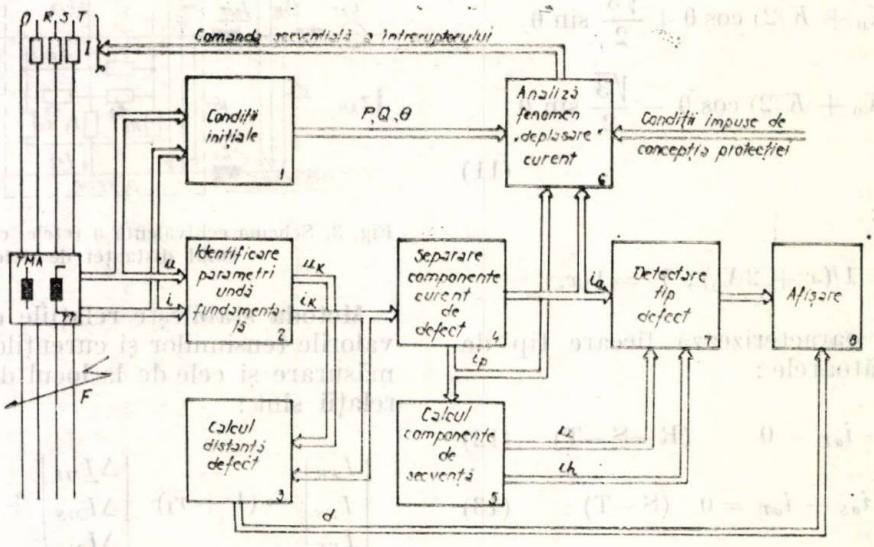


Fig. 1. Schema bloc a complexului pentru comanda secvențială a întrerupătorului, detectarea tipului și distanței defectului.

Ceea ce este foarte important, este faptul că relațiile (19) și (20) sînt valabile pentru orice tip de defect. Calculul lui d se poate face prin procedee iterative sau de gradient, descrise în detaliu în [7].

Concluzii

Schema de principiu a complexului ce se poate realiza pe baza celor prezentate este redată în figura 4. Complexul permite detectarea tipului de defect, calculul distanței la care s-a produs, precum și, în situațiile în care este necesar, comanda secvențială a întrerupătorului.

Autorii își propun să studieze în continuare posibilitățile de anticipare a timpilor după care curenții de defect pe cele trei faze trec prin zero pentru a se realiza corect comanda secvențială a întrerupătorului.

Soluțiile constructive pentru realizarea diferitelor blocuri funcționale ale complexului din

Bibliografie

[1] The Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan, vol. 105. No. 9/10, 1985.

[2] Revue BBC nr. 5, mai 1974, tome 61.

[3] Munteanu, Fl., Ivas, D., Voinea, E. *Tehnici moderne utilizate pentru detectarea tipului de defect și reducerea solicitării întreruptoarelor la scurtcircuit*, S.N.R.E., Cluj-Napoca, 1988.

[4] Bolotin, I. P. *Măsurări în regim de scurtcircuit.* In: Energia, 1975.

[5] Ranjbar, A. M., Cory, B. J. *An improved method for the digital protection of high valtage transmission lines.* In: IEEE Transactions on PAS, No. 2, 1975.

[6] Sachdev, M. S., Baribeau, M. A. *A new algorithm for digital impedance relays.* In: IEEE Trans. on PAS, nr. 6, 1979.

[7] Kratz, G. *Contribuții la utilizarea microcalculatoarelor pentru rezolvarea problemelor de măsurare, protecție și reglare în alimentarea cu energie electrică.* Teză de doctorat, 1986.

(Primit la 31 ianuarie 1990, acceptat la 14 februarie 1990)

Stadiul dezvoltării energeticii vîntului în Olanda*)

Dr. ing. GERARD J. W. Van BUSSEL**)

Descriptori: energetica vîntului

Energia vîntului a fost și este o importantă sursă de energie în Olanda. După o scurtă prezentare a istoricului energeticii vîntului și a aplicațiilor sale moderne, se analizează realizările obținute în cadrul programelor naționale olandeze.

De asemenea, se subliniază rolul industriei olandeze, ca și stadiul actual al aplicațiilor energeticii vîntului în Olanda.

In the Netherlands, the wind represented in the past and represents even today an important energy source. After a brief historical sketch and an overview of modern application, the developments under the Duch National programs are described.

The role of the Dutch industry as well as the state of the art of wind energy applications in The Netherlands is depicted.

1. Introducere

1.1. Din istoricul utilizării energiei vîntului în Olanda

De-a lungul secolelor, energia vîntului a jucat un rol important în Olanda. Se pare că realizarea morii pivotante (proiect tipic din Europa Occidentală) își are originea într-o zonă din apropierea Olandei. Primele dovezi scrise referitoare la prezența morilor de vînt datează din 1197 în vestul Belgiei, 1180 în nord-vestul Franței și 1190 în sud-estul Angliei [1].

Prima imagine a morii pivotante a fost descoperită în „Windmill Psalter", Canterbury England (1270). Mecanismul complet al unei astfel de mori de vînt se montează în interiorul corpului care se rotește în jurul pivotului pentru a se orienta pe direcția vîntului.

Probabil că aceste mori de vînt au fost introduse în Olanda tot cam la acea dată. Prima lor utilizare a fost măcinarea grînelor, pentru ca apoi să fie utilizate și la alte cereale. Într-o etapă ulterioară s-a dezvoltat aplicația pentru pomparea apei. Pivotul pe care corpul se putea orienta în funcție de direcția vîntului era tubular pentru a permite arborelui motor să se conecteze la roata de apă plasată la cota fundației. Pomparea apei a fost și este o problemă foarte importantă în Olanda, datorită faptului că aproximativ 50% din suprafața țării este sub nivelul mării.

Morile de vînt și utilizarea puterii vîntului pentru deplasarea corăbiilor reprezentau principala forță motrice din Olanda secolului XVII, secolul de aur, cînd un număr de 10 000 mori au fost instalate în diferite scopuri. Există dovezi care atestă faptul că dimensiunea morilor de vînt nu a crescut de-a lungul secolelor. Cu o medie de 25 m (domeniul tipic este de 22—28 m), puterea instalată pe moară poate fi estimată la 50 kW (luîndu-se în considerație randamentul slab al vechilor mecanisme). La vremea aceea, cele 10 000 de mori reprezentau o putere instalată de 500 MW!!

1.2. Realizări recente

În tabelul 1 se dă structura actuală a producției olandeze de energie electrică [3].

Tabelul 1

Producția de energie electrică și consum în Olanda

Putere instalată	15 000 MW
Putere maximă	9 000 MW
Putere medie	6 200 MW
Producție	54 000 000 MWh
Casnic	48 %
Industrial	49 %
Transport	3 %
Surse	
Gaze naturale	48 %
Petrol	31 %
Cărbune	13 %
Nuclear	8 %

Desigur, majoritatea lucrului mecanic realizat inițial de vînt a fost preluat de combustibilii fosili.

Cu toate acestea, în prezent, puterea vîntului poate deveni din nou o importantă sursă de energie, contribuind la scopul guvernamental de diversificare și avînd un impact nesemnificativ cu mediul înconjurător. Cantitatea de energie eoliană existentă în Olanda (vezi fig. 1) a condus la ideea că este necesară o serioasă reconsiderare a problemei. Costurile energiei eoliene au fost reduse în ultimul deceniu pînă la nivelul la care să poată deveni competitive cu sursele de energie fosile. Deci din 1976 au început să se dezvolte programe naționale de cercetare, urmate de un „program integral pentru energetica vîntului" — IPW inițiat în 1986 și care se va derula pînă la sfîrșitul anului 1990. Programul prevede ca pînă la finalizarea sa să fie instalate aerogeneratoare

*) Comunicare prezentă la Conferința Internațională Solar and Wind Electricity — SWE '89, București 2—4 oct. 1989.

**) Dr. ing. Gerard van Bussel — șeful Institutului pentru Energetica Vîntului din cadrul Universității Tehnice din Delft — Olanda.

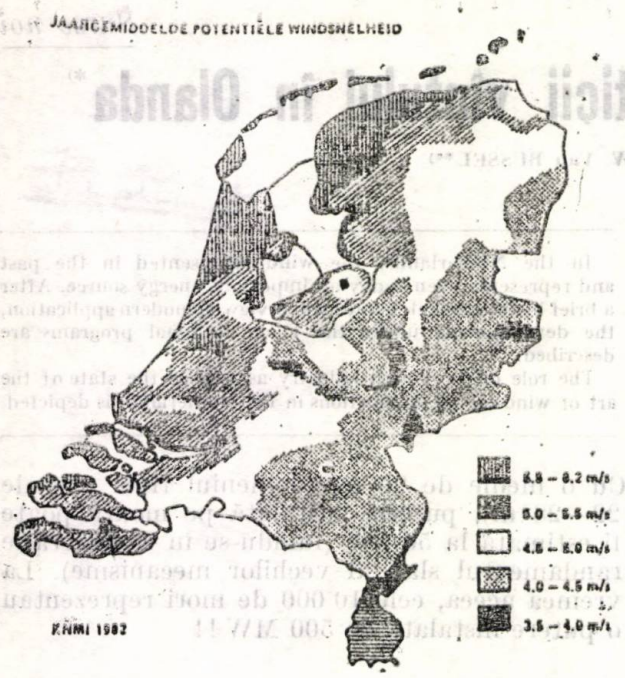


Fig. 1. Potențialul vîntului în Olanda (la înălțimea standard de 10 m).

însumînd o putere de 100—150 MW și ca pînă în anul 2000 să se dezvolte o industrie energetică ce va putea asigura turbine eoliene pentru o implementare de 1 000 MW.

2. Aplicații moderne ale energeticii eoliene

Majoritatea turbinelor eoliene instalate în Olanda sînt încă utilizate la pomparea apei. Pe tot cuprinsul țării se află cîteva mii de turbine mici pentru pompaj (multipale cu diametrul de 3 m), utilizate pentru drenare. În general, în prezentările activităților de energetică a vîntului nu se mai prea iau în considerație pomparea apei și alte activități independente ale energeticii eoliene. Ele nu sînt incluse în programele naționale menționate mai sus. Cu toate acestea vor fi menționate în lucrarea de față. Dintre fabricanții olandezi Bosman este cel mai cunoscut fabricant al acestor turbine pentru pompaj.

CWD, o fundație coordonată de Ministerul Afacerilor Economice, are preocupări în domeniul cercetării, dezvoltării și consultanță pentru țările în curs de dezvoltare în domeniul turbinelor pentru pompaj.

CWD a realizat mai multe proiecte pentru fabricarea locală (rurală), a dezvoltat proiectele unei turbine pentru pompaj în ax electric și un sistem autonom electric vînt-diesel, împreună cu firma Lagerwey. Mai mult de 300 turbine pentru pompaj (cu dimensiuni de la 2 la 8 m diametru) au fost realizate de către sau sub auspiciile CWD.

H—Energiesystemen și Windpower Holland s-au specializat în aplicații autonome (cu turbine eoliene producătoare de energie electrică). Trebuie de asemenea menționat LMW, specializat în turbine eoliene mici (diametrul de 1,5—5 m) producătoare de energie electrică de tensiune redusă pentru aplicații rurale izolate, ale căror proiecte s-au bucurat de o apreciere deosebită.

Aplicațiile de mai sus sînt totuși de mică importanță în cadrul unei țări puternic industrializate cum este Olanda, iar un proiect semnificativ necesită un volum considerabil de cercetare-dezvoltare. În cadrul programelor guvernamentale, chiar și aceste aplicații foarte importante (la scară mondială) sînt într-o oarecare măsură subestimate.

Cu toate acestea o atenție deosebită se acordă turbinelor eoliene producătoare de energie electrică, conectate la rețea, iar această lucrare va aborda problema cu aceeași atenție.

Referința [5] prezintă o competentă sinteză a activităților industriale olandeze.

3. Programe naționale de cercetare

Programele naționale de cercetare sînt finanțate de către Ministerul Afacerilor Economice.

În primul program național (NOW 1, 1976—1980) s-a realizat un studiu de principiu care demonstra posibilitatea obținerii a 1000 MW instalați din energia vîntului pentru necesarul de energie electrică în Olanda.

O turbină eoliană experimentală a fost construită de Fundația Olandeză de Cercetări Energetice—ECN (diametrul de 25 m, 300 kW putere instalată), în scopuri de cercetare.

Printre contractorii acestui program se află Universitățile Tehnice din Delft și Eindhoven, institutele de cercetare ECN, TNO și NLR și o parte din industriile olandeze mai importante : Fokker, Stork și Holec.

Obiectivele erau stabilite pe termen lung, iar implementarea nu era prevăzută în perioada contractului.

Cel de-al doilea program (NOW 2, 1981—1985) avea caracterul unui program de dezvoltare. Utilizarea modernă a puterii vîntului a fost deja demonstrată la scară mică în Danemarca și deci s-a stabilit lansarea unui număr de proiecte demonstrative.

Spre deosebire de experiența daneză s-au utilizat produse obținute de la industriile tinere din Olanda (Lagerwey, Bouma, Polymarin și Polenko). Programul de cercetare pe termen lung s-a modificat treptat în proiectele de cercetare aplicativă. Firmele Fokker și Holec au părăsit domeniul energiei vîntului, iar NLR și-a redus aportul. Storck (FDO) continuă desfășurarea activităților de energie eoliană în varianta ECN, NEWECS 25.

Holec a reintrat în energetica eoliană printr-o preluare de la Polenko și Windmatic (Danemarca) și produce turbine eoliene pentru centrala aeroelectrică SEP.

Cel de-al treilea program (1985—1986) a prevăzut încheierea activităţilor precedente şi stabilirea directivelor pentru perioada 1986—1990.

Programul integral pentru energia eoliană cuprinde de asemenea o secţiune generală de dezvoltare tehnologică, denumită acum NOW 3.

Tabelul 2, preluat din [3], prezintă programele cu impactul lor financiar şi principalele lor caracteristici.

Tabelul 2

Bugetele programului naţional de energie eoliană în ECU
(1ECU ≅ 1,8 $)

Programul	Perioada	Valoare în mil. ECU
NOW 1	1976—1980	8
NOW 2	1981—1984	12
NOW 3	1985—1986	5
IPW	1986—1990	50

Referinţa [3] cuprinde o descriere mai completă a obiectivelor şi rezultatelor programelor NOW. În cele ce urmează se va aborda mai detaliat IPW.

4. Programul integral de energetică eoliană (IPW)

4.1. Obiective şi mijloace de realizare

IPW este un program integral de dezvoltare a energiei eoliene, finanţat de Ministerul Afacerilor Economice. Obiectivele principale ale acestui program integral (1986—1990) stabilite la începutul programului sînt :

— o putere eoliană instalată de 100—150 MW la sfîrşitul lui 1990 ;

— o industrie olandeză puternic dezvoltată în domeniul energeticii vîntului care poate furniza turbine eoliene pentru obiective de 1000 MW (în jurul anului 2000) în condiţii de competitivitate.

Mijloacele pentru realizarea acestor obiective sînt următoarele :

— un program de dezvoltare a pieţei care subvenţionează cumpărarea de turbine eoliene ;

— un program de dezvoltare în care industria turbinelor eoliene olandeze este subvenţionată în ceea ce priveşte dezvoltarea unor turbine eoliene mai economice ;

— introducerea unui procedeu de certificare. Numai cumpărarea turbinelor eoliene atestate este subvenţionată ;

— elaborarea celui de-al treilea program naţional de cercetare şi dezvoltare (NOW 3).

Pentru amplasamente favorabile din punct de vedere ambiental (fig. 2), conducerea Ministerului Sănătăţii Publice şi a Mediului Înconjurător oferă un plus de subvenţii. De asemenea, sînt acordate subvenţii pentru proiectele care au ca scop reducerea zgomotului. Detalii suplimentare referitoare la IPW sînt prezentate în tabelul 2.

Fig. 2. Amplasamente cu ambiental favorabil pentru instalarea de turbine eoliene şi în care se obţin subsidii suplimentare.

4.2. Probleme privind implementarea mijloacelor IPW

Programul integral a fost confruntat cu o serie de obstacole. Cîteva din aceste obstacole au fost deja menţionate în [4], lucrare prezentată la Conferinţa BWEA din 1987. Lucrarea de faţă analizează stadiul actual al problemei.

În prezent există o serie de factori care au dus la întîrzierea programului, şi anume :

Există în primul rînd problema amplasamentului. Schema IPW neglija problema volumului de timp necesar pentru obţinerea unui teren, pentru obţinerea tuturor aprobărilor de la autorităţile locale şi trecerea prin toate etapele de consultare publică. Ca rezultat, numărul de proiecte realizate este mai mic decît cel scontat.

Cea de-a doua problemă se referă la schema de subvenţionare a pieţei, care demonstrează următoare idee : turbinele eoliene devin treptat mai ieftine cînd se trece la producţia de serie. Dar schema subvenţiilor este foarte optimistă în ceea ce priveşte reducerea posibilă a posturilor. Acest fapt, împreună cu întîrzierea producţiei face ca, pentru moment, turbinele eoliene să fie mai puţin atractive decît se prevedea.

Se punea apoi problema dezvoltării noilor tipuri de turbine eoliene. În locul producţiei

de serie a tipurilor existente, unii fabricanți (de asemena stimulați de cerințele pieței) au elaborat proiecte noi. Toate aceste proiecte trebuie să treacă prin procesul de atestare înainte ca ele să obțină subvențiile pieței. Procesul de elaborare și de atestare necesită de asemenea mult timp, ducînd din nou la întîrzierea promovării instalațiilor.

4.3. Situația actuală

Pentru cîteva din problemele menționate mai sus s-au găsit soluții, cum ar fi modificarea schemei de subvenții a pieței. Cu toate acestea, trebuie să se specifice că pînă la sfîrșitul anului 1990 nu va mai fi posibilă realizarea a 150 MW.

La începutul anului 1989 erau instalați circa 32 MW eolieni, iar la sfîrșitul aceluiași an se scontează pe circa 40 MW în funcțiune (fig. 3).

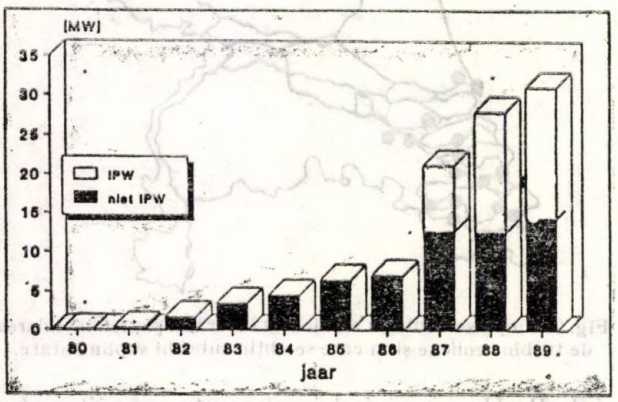


Fig. 3. Puterea instalată în turbine eoliene în Olanda în perioada 1980 — 1989 (cu negru — instalări în afara programului IPW).

Posibilitatea de a avea 100 MW instalați la sfîrșitul anului 1991 (o realizare minimă din obiectivul inițial) va depinde în foarte mare măsură de atitudinea societăților (consiliilor) de energie electrică. În momentul de față energia vîntului nu este atractivă din punct de vedere economic, chiar cu subvențiile obișnuite. Pe de altă parte, aceasta nu este chiar o opțiune imposibilă, deoarec prețul ei subvenționat este de același nivel ca prețul energiei convenționale produse. Există speranța ca ministerele cu preocupări în energetica eoliană să ajungă la o înțelegere cu consiliile de energie electrică pentru sprijinirea obiectivelor stabilite de către guvern.

Dacă realizarea implementărilor se face chiar prin întreprinderi sau prin împuterniciți particulari care vînd energie electrică întreprinderilor, este un factor de mică importanță. Pentru moment sînt deja realizate ambele alternative.

5. Consiliile de energie electrică

Odată cu introducerea unei noi legi privind producerea energiei electrice, cu cîțiva ani în urmă, s-au schimbat multe lucruri cu privire la energia electrică produsă de turbinele de vînt. La începutul anilor 1980, Consiliile de Producere a Energiei Electrice — SEP — au luat hotărîrea să realizeze o centrală aeroelectrică pentru studierea efectelor producerii energiei electrice „centralizat" cu ajutorul turbinelor de vînt. Această centrală, constînd din 18 turbine de vînt (de 300 kW și diametrul de 30 m) tocmai a fost realizată, dar nu este încă în funcționare (vezi pct. 7). Odată cu noua lege de producere a energiei electrice s-a creat o secțiune în cadrul consiliilor *de producere* a energiei electrice (5 companii) și a unui mare număr de consilii *de distribuție* a energiei electrice.

Cu toate acestea, consiliilor de distribuție li se permite să producă cu forțe proprii cantități limitate de energie electrică „descentralizată" și, de asemenea, să cumpere energie electrică de la centralele „descentralizate" particulare.

De la inițierea IPW consiliile de distribuție a energiei electrice au încurajat în mare măsură dezvoltarea energeticii eoliene, fie în privința construcției centralelor eoliene, fie în cumpărarea energiei electrice de la investitorii particulari.

6. Industria

6.1. Marile companii tradiționale

După cum s-a menționat, interesul industriei a fost axat în trecut pe două alternative.

Compania aeronautică Fokker a luat parte la proiectarea și producerea unei turbine pentru cercetare HAT de 25 m, care ține de ECN. Specialiștii companiei au prezentat, de asemenea, o parte din activitățile privind dezvoltarea grupurilor cu ax vertical, dar ulterior (la începutul anilor '80) au hotărît să întrerupă activitățile legate de turbine eoliene.

Compania Stork se află încă în activitate. După ce Stork — FDO a realizat NEWECS 25 (trei turbine eoliene vîndute) a fost proiectată și construită NEWCS 45 de 1 MW. Negocierile inițiale cu consiliile de energie electrică, care au avut rezultate negative, au oprit pentru o vreme producția companiei Stork-FDO, dar în prezent Stork—WES realizează un grup NEWECS 55 de 1,5 MW (fig. 4). Pentru o lungă perioadă de timp Stork—VSH a fost principala companie de fabricare a palelor. Cu toate acestea în 1989 ei s-au hotărît să părăsească energetica eoliană. Producția de pale de rotor Stork—WPX este totuși continuată de „Airpac", o nouă companie independentă.

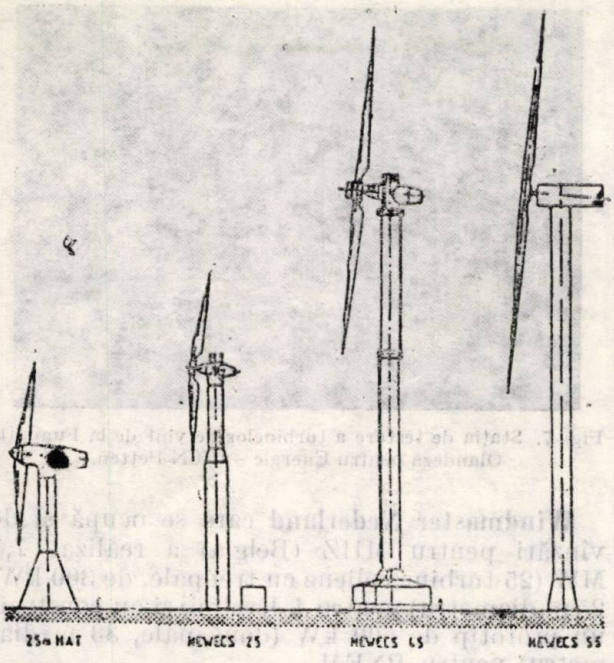


Fig. 4. Programul de dezvoltare turbine eoliene al FDO-WES.

Holec a participat la elaborarea grupului HAT de 25 m, a părăsit energetica eoliană și s-a reîntors, cuplîndu-se cu Polenko (Olanda) și Windmatic (Danemarca). Holec-Polenko a primit o comandă de 18 turbine (diametrul 30 m, 300 kW) pentru centrala SEP de la Sexbierum.

În timpul producerii acestor turbine eoliene, Polenko s-a separat din nou de Holec și sub denumirea de Newinco a înființat o companie nouă, relativ mică, în strînsă colaborare cu Hollandia-Kloss. Astăzi Newinco are un program dezvoltat de producere a turbinelor eoliene cu puteri de pînă la 500 kW.

6.2. Pionierii

Istoricul companiilor mai mici este mult mai extins. Bouma, Lagerwey și Polymarin au preocupări încununate de succes în domeniul energeticii vîntului de la sfîrșitul anilor '70.

Lagerwey se concentrează pe piața micilor utilizatori. Turbina sa eoliană Lagerwey 15/75 (diametrul de 15 m, 75 kW) se bucură de foarte mare succes (fig. 5).

Se fac eforturi pentru obținerea unei puteri unitare mai mari prin montarea mai multor rotoare pe același pilon (conceptul turbinelor eoliene multiple).

Bouma mărește treptat dimensiunea turbinelor și folosește în proiectare trei pale cu autoreglaj aerodinamic. La sfîrșitul anilor '70 firma a oferit un rotor cu diametrul de 8,5 m și unul de 11 m. În prezent se poate cumpăra doar unul de 20 m (160 kW) și unul de 24 m (250 kW).

După ce a cochetat o perioadă cu turbina cu ax vertical, compania Polymarin a devenit fabricantă de pale. Aceasta este în strînsă corelație cu celelalte activități desfășurate în domeniul aplicației compozitelor (poliesteri, carbon și aramide) în construcția navală.

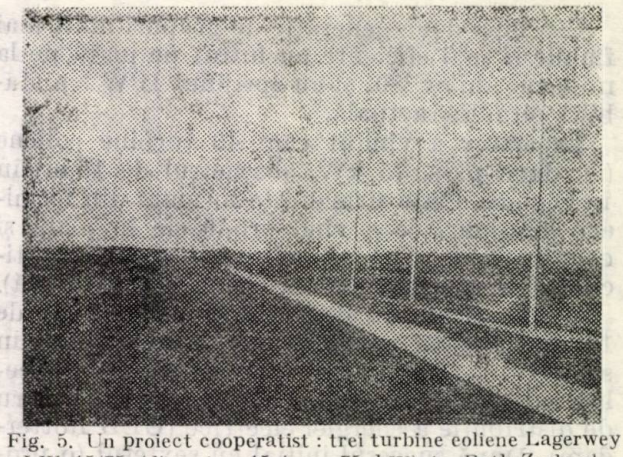


Fig. 5. Un proiect cooperatist : trei turbine eoliene Lagerwey LW 15/75 (diametru 15,4 m, 75 kW) în Bath-Zeeland.

Palele pentru NEWEC 45 (de 45 m diametru) au fost fabricate de către Polymarin.

6.3. Conexiunea belgiană

Ultimul fabricant menționat în această lucrare va fi Windmaster. Firma HMZ, originară din Belgia, a repurtat succese satisfăcătoare în ceea ce privește construcția și vînzarea turbinelor eoliene în Belgia, Olanda, S.U.A. și alte țări, și anume turbinele eoliene cu trei pale, cu diametre de la 22,5 pînă la 25 m (200—250 kW).

În Olanda s-a realizat o centrală eoliană cu 25 turbine Windmaster (25 m—250 kW).

Odată cu introducerea în programul IPW filiala olandeză s-a stabilizat. S-a realizat deja un grup cu două pale de 500 kW, diametrul de 33 m, iar varianta de 750 kW (diametrul 40m) este în construcție.

Tabelul 3

Producția nominalizată anuală a cîtorva tipuri de turbine eoliene utilizate în Olanda

Fabricantul	Tipul	Productivitate	
		kWh/an	kWh/m²·an
Windmaster	(22,5 m diam. 250 kW)	382 500	960
Bouma	(16 m diam. 75 kW)	192 400	995
Lagerwey	(15 m diam. 75 kW)	173 500	930
FDO WES	(45 m diam. 1000kW)	1 431 200	900
Newinco	(14 m diam. 50 kW)	130 800	850

7. Stadiul actual al diferitelor proiecte

La sfîrșitul anilor '70 și începutul anilor '80 în Olanda au fost realizate 150 noi turbine eoliene.

Trebuie menționat faptul că în acea perioadă toate aceste proiecte se ocupau practic cu turbine prototip, care nu erau în întregime dezvoltate.

Cea de-a doua generaţie de grupuri mult mai fiabile şi mai eficiente au intrat pe piaţă pe la mijlocul anilor '80, şi cu sprijinul IPW s-a stabilit situaţia actuală.

Lagerwey a vîndut cam 40 turbine eoliene (cu două pale, 75 kW, diametrul de 15 m) în în Olanda. Piaţa firmei este formată din fermieri, grădinari ce-şi vînd produsele în piaţă şi cooperaţii de turbine eoliene (persoane particulare care vor să investească în energie eoliană).

Avînd succes cu dubletul (două turbine de 10 m diametru pe un pilon) el a elaborat un sextet (6 × 15 m diametru în trei şiruri) pe acelaşi pilon ca prototip, în cooperare cu un centru de distribuţie a energiei electrice (GEB Rotterdam). După succesul iniţial cu sextetul (o producţie magnifică), problemele legate de vibraţii în pilonul care are formă de brăduţ, cuplarea cu rotorul şi, în final, avariile de reglaj au dus la distrugerea prototipului.

Firma a reproiectat un cvartet (4 × 15 m diametru) pe un pilon, iar acest nou proiect a fost implementat recent în acelaşi amplasament.

Bouma a vîndut de asemenea cam 40 turbine eoliene (3 pale, 160 kW, 20 m diametru) unei fundaţii de acţionari particulari (SWN) şi mai multor centre de distribuire a energiei electrice (PEN şi alţii). Majoritatea noilor sale proiecte (pentru GEB Haarlem şi alţii) sînt echipate cu turbine mai mari de 250 kW, diametrul de 24 m. De curînd s-au înregistrat probleme cu baza palelor grupurilor de 20 m. Bouma, în colaborare cu ECN au elaborat un procedeu de adaptare/modernizare prin care au putut fi verificate palele şi s-a modificat bordul de fugă al palei în zona secţiunii de bază. În prezent toate cele 33 turbine eoliene care trebuiau să fie modificate sînt din nou în funcţiune (fig. 6).

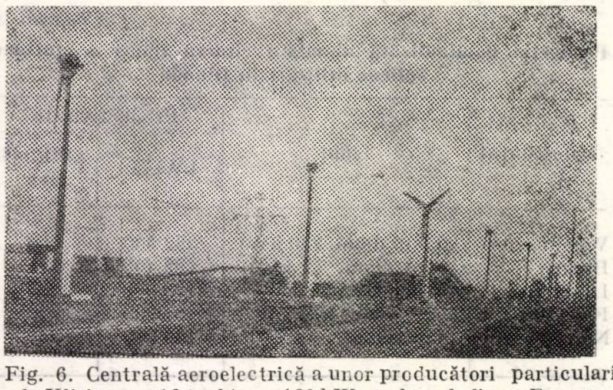


Fig. 6. Centrală aeroelectrică a unor producători particulari. la Vlisingen : 16 turbine a 160 kW produse de firma Bouma.

Newinco a realizat de curînd o centrală aeroelectrică de 2,5 MW (10 turbine eoliene cu trei pale, 250 kW, diametru 23 m) pentru PEB Friesland şi a vîndut multe alte turbine eoliene mai mici.

S-a realizat apoi un prototip de 500 kW cu două pale (34 m diametru), în cooperare cu GEB Rotterdam.

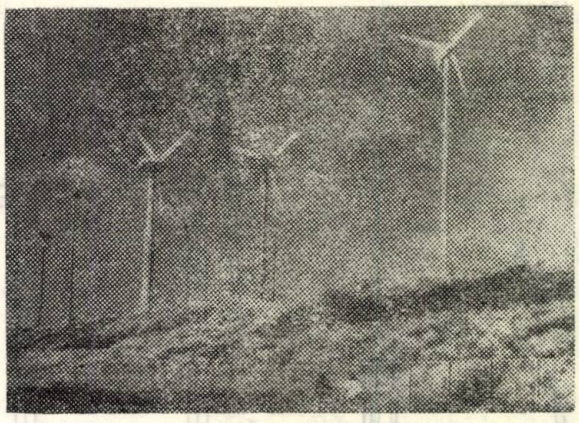


Fig. 7. Staţia de testare a turbinelor de vînt de la Fundaţia Olandeză pentru Energie — ECN Petten.

Windmaster Nederland care se ocupă şi de vînzări pentru MHZ (Belgia) a realizat 7,5 MW (25 turbine eoliene cu trei pale, de 300 kW, 25 m diametru) pentru I Jsselmij şi au construit un prototip de 500 kW (două pale, 33 m diametru) pentru PNEM.

Dacă turbina va avea succes, proiectul se va extinde cu şapte turbine eoliene de 500 kW şi cu un proiect asemănător ; prototipul de 750 kW (40 m diametru). La începutul lui 1989 toate nacelele celor 25 turbine eoliene ale centralei I Jsselmij au fost date jos pentru revizuirea lagărelor. Dar această centrală este din nou în funcţiune la capacitatea nominală.

FDO—WES (Stork) a vîndut trei turbine eoliene NEWECS 25 (două pale, cu diametru de 26,5 m, 300 kW) în Olanda, mai multor companii de electricitate. Mai mult, NEWECS 45 (două pale cu diametrul de 45 m, 1 MW) a fost construit ca prototip şi vîndut la PEN.

Prima turbină eoliană NEWECS 25 (amplasată la PZEM Vlissingen) a pierdut o pală de două ori. Prima dată, la scurt timp după instalarea sa în 1983 (ea a fost cauzată de o greşeală de reglaj sotfware). A doua oară motivul a fost o neglijenţă în procedeul de verificare, şuruburile cu care era fixată pala de poliester de butuc nefiind strînse suficient.

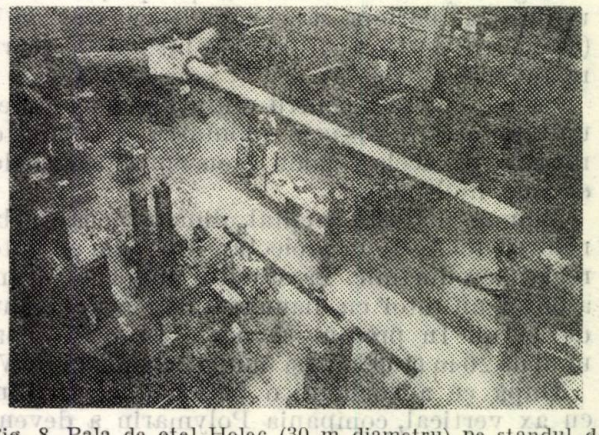


Fig. 8. Pala de oţel Holec (30 m diametru) pe standul de încercare la oboseală de la Universitatea Tehnică din Delft.

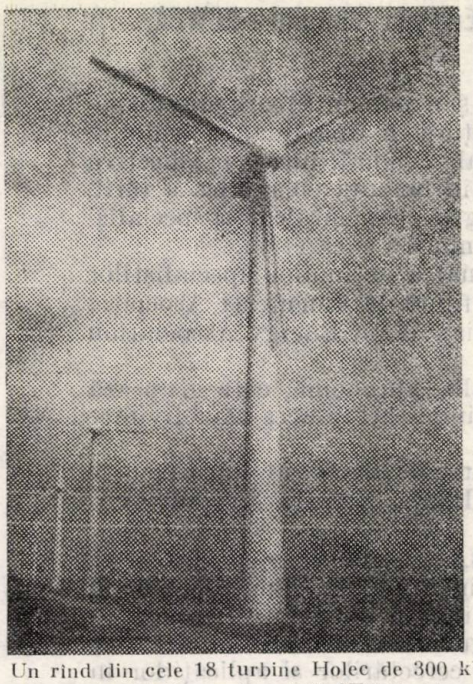


Fig. 9. Un rînd din cele 18 turbine Holec de 300 kW, din centrala aeroelectrică experimentală SEP-Sexbierum.

Grupul NEWECS 45 a avut şi el o problemă. Cauza era minoră : cîteva mici şi relativ neimportante fisuri în bordul de fugă de la baza palei. S-a luat hotărîrea reparării lor pe instalaţie la faţa locului cu ajutorul unei „pături" încălzită electric pentru uscarea răşinii. Din păcate sistemul de reglaj al căldurii a eşuat, iar baza palei a fost supraîncălzită (arsă), ceea ce a impus hătărîrea de a se reconstrui pala.

Holec a produs 18 turbine eoliene pentru centrala SEP (3 pale, 300 kW, 30 m diametru) (fig. 8, 9) şi are plan pentru o versiune cu puterea de 500 kW (34 m diametru). Turbinele eoliene din centrala experimentală SEP au întîmpinat o serie de probleme referitoare la sistemul de reglaj, generator şi orientare. Deoarece cele 18 turbine sînt identice modificările trebuie făcute la toate. În prezent centrala nu este complet în funcţiune.

Concluzii

Energia eoliană a devenit o opţiune serioasă în ceea ce priveşte producţia de energie electrică în Olanda.

Un număr de programe naţionale au stimulat dezvoltarea şi aplicarea energiei eoliene.

Deşi introducerea energiei eoliene necesită mai mult timp decît s-a anticipat de către cei ce au întocmit cel mai recent program naţional, IPW, se crede că vor fi instalaţi 100 MW în scurt timp.

Trebuie să se acorde o atenţie deosebită producerii de energie eoliană în sisteme neconectate la reţea, mai ales dacă se au în vedere situaţiile concrete existente pe plan mondial.

Bibliografie

[1] Notebaart, J. C. *Windmühlen, der Stand Forschung über das Vorkommen und den Ursprung.* Mouton Verlag, 1972.

[2] Van Bussel, C. J. W. *De ontwikkeling van het wieksysteem van de oud hollandse windmolen.* Nat. Windenergie Conferentie 1981, Vel Veldhoven, The Netherlands

[3] Hack, R. K. *The Netherlands wind energy research and development program.* European Wind Energy Association Conference, Oct. 1986, Rome, Italy.

[4] Dragt, J. B., *The wind energy scene in The Netherlands and the ro role of ECN.* 9th BWEA Conference, March, 1987, Edinburgh, U. K.

[5] *Holland Wind Energy.* Export Catalogue, 1988, NOWEM Utrecht, The Netherlands.

Traducere: Ella Radcu
Revizie tehnică: ing. Gheorghe Voicu
(Primit la 27 februarie 1990, acceptat la 4 aprilie 1990)

Din partea Asociației Române pentru Energia Vîntului—ROWEA

Energia vîntului este o sursă gratuită și nepoluantă, care prin disponibilitatea sa este demnă de luat în considerație și în România, ca în multe alte țări ale lumii. Realizările tehnice actuale asigură, într-o perspectivă nu prea îndepărtată, intrarea acestei surse în balanța energetică a țării. De aici interesul manifest al unor organisme guvernamentale și al specialiștilor din țara noastră pentru această nouă ramură a energeticii.

În vederea coordonării la nivel național a acțiunilor specialiștilor din domeniu, la 19 februarie 1990 a luat ființă la București Asociația Română pentru Energia Vîntului — Romanian Wind Energy Association — ROWEA.

ROWEA este o asociație profesională, autonomă, care grupează ingineri, oameni de știință și alți cetățeni implicați în această activitate specifică.

Asociația are membri în mai multe centre de interes ale țării printre care București, Timișoara, Brașov, Sibiu, Bocșa, Bistrița-Năsăud, Constanța și altele.

Conform statutului asociației ROWEA susține și încurajează pe toate căile promovarea energeticii vîntului în România, fiind organism profesional care reprezintă opinia specialiștilor în domeniu în raport cu alte organisme — guvernamentale sau neguvernamentale — în ceea ce privește planificarea și realizarea studiilor, cercetărilor și aplicațiilor în domeniu.

Asociația coordonează schimbul de informații tehnico-științifice și economice între membrii săi prin metode specifice : fișiere de documentații, registrul studiilor la nivelul țării, organizare de întîlniri, conferințe, simpozioane etc.

ROWEA promovează dezbateri publice și popularizează informații în domeniul energeticii vîntului folosind mijloacele mass-media.

Asociația stabilește legături de colaborare cu mișcările ecologiste din România, avînd în vedere interesul comun de promovare a acestei surse nepoluante.

ROWEA este afiliată la organismul european de specialitate — European Wind Energy Association — EWEA, integrînd astfel preocupările asociației în contextul european.

Asociația Română pentru Energia Vîntului a fost înregistrată oficial la Tribunalul sectorului 1 — București, la 8 martie 1990.

Sediul ROWEA este în București, sector 3, B-dul Energeticienilor nr. 8, unde se pot adresa toți cei interesați.

Considerații privind chimismul coroziunii fisurante sub tensiune la cazanele cu abur

Dr. ing. LUCIAN NEGULESCU *

Descriptori: cazane cu abur, coroziune fisurată sub sarcină

Datorită calităților mecanice excepționale ale oțelurilor slab aliate cu granulație fină, în ultimele decenii constructorii de cazane le-au folosit din plin. Fără a se ține cont de susceptibilitatea acestora la coroziunea fisurantă sub sarcină, s-a practicat același regim chimic ca și în cazul cazanelor construite din oțel carbon. Tensiunea de serviciu și tensiunea remanentă din suduri asociate cu unele carențe de exploatare au condus la apariția fenomenului de coroziune fisurantă sub sarcină în tamburul cazanului. În articol se prezintă mecanismul coroziunii și se fac unele considerații de prevenire a avariei.

Due to the exceptional mechanical qualities of the low alloy fine-grained steels, the boilers manufacturers have them plenty used the last decades. Taking no heed of their susceptibility to the stress corrosion, the similar chemical regime as in the case of the carbon steel boilers has been applied.

The operating stress and the remanent stress from the weldings associated with certain operation deficiencies have led to the stress corrosion cracking. The paper deals with the corrosion mechanism and the same time certain consideration on its prevention are presented.

Evoluția concepției cazanelor de abur a fost dominată de găsirea de modele constructiv-funcționale la care să se ajungă la consumuri specifice minime de metal (tonă metal/tonă abur oră) și care să admită densități de flux termic maxim pe suprafețele de schimb din sistemul vaporizator.

În ceea ce privește micșorarea consumului de metal, au fost operate reduceri la toate elementele componente ale unui cazan de abur.

În cele ce urmează ne vor referi numai la cazanele de abur cu circulație multiplă, care au în structura lor un tambur separator de faze. De altfel tamburul separator de faze este elementul determinant pentru regimul chimic al cazanului.

Se poate funcționa în două regimuri:

— regimul filtru, în care limitele de concentrație maxim admise în apa din tambur se mențin prin reglarea debitului purjei continue,

— regimul tranzit, în care are loc un transfer total de masă de la apa de alimentare la abur [1].

În primul caz bilanțul masic se prezintă astfel:

$$D_{al} \cdot S_{al} = D_{ab} \cdot S_{ab} + D_{pj} \cdot S_{pj}. \qquad (1)$$

Pentru ușurința calculelor, ținînd seama și de faptul că există o diferență între salinitatea apei de alimentare și a aburului, în relația 1, se poate neglija S_{ab} astfel că termenul $D_{ab}\ S_{ab}$ tinde spre zero și deci raportul concentrațiilor este invers proporțional cu raportul debitelor:

$$\frac{S_{pj}}{S_{al}} = \frac{D_{al}}{D_{pj}}. \qquad (2)$$

Pentru ameliorarea raportului debitelor, adică pentru a diminua cuantumul de purje, ceea ce este posibil prin creșterea lui S_{pj}, s-a dezvoltat așa-numita vaporizare în trepte, cea mai răspîndită fiind cea în două trepte.

Cel de al doilea regim de funcționare — tranzit — este mai dificil de aplicat datorită, încă, lipsei unei tehnologii eficiente de îndepărtare a silicei coloidale, care scapă lanțului de demineralizare.

În situația actuală cazanele de abur funcționează în regim de filtru cu practicarea unei purje continue. Regimul chimic al cazanului este influențat de densitatea de flux termic de la nivelul zonei de vaporizare.

Hömig [2] a stabilit o relație, care permite aprecierea limitei critice de concentrare a sărurilor care sînt transportate către stratul laminar limită (S) la un flux termic (Q), cînd concentrația sărurilor în apa din tambur este (S_{pj}) și pentru căldura de vaporizare (r) la starea respectivă:

$$S = \frac{Q \cdot S_{pj}}{r}. \qquad (3)$$

Cazanele de abur luate în considerație cu un flux termic specific $Q \geqslant 10^6$ kcal/m^2·h; valoarea lui r la 160 bar este 228 kcal/kg și presupunînd că în tambur există 10 ppm Cl^-, respectiv $3 \cdot 10^{-4}$ mol/kg conform relației (3):

$$S = \frac{10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{228} = 1{,}315 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{h} \cong$$

$$\cong 47 \text{ mg } Cl^-/\text{m}^2 \cdot \text{h}.$$

Acest transport de ioni de clor, respectiv de săruri, creează posibilitatea de concentrații în stratul limită de pînă la 100 ori față de concentrația sărurilor în apa din tambur.

* Dr. ing. Lucian Negulescu — consilier ICPEAR, cadru didactic asociat I.P.B.

Luînd în considerare această caracteristică trebuie menționat că regimul chimic al cazanelor de abur cu circulație multiplă se plasează la același nivel de pretenție cu cel pentru cazanele cu străbatere, la acestea din urmă nefiind posibilă, cel puțin teoretic, concentrarea de ioni.

În condițiile în care emulsia apă-abur, care deversează în tambur, venind din sistemul vaporizator, încărcată cu săruri, tamburul trebuie să asigure o astfel de separare a celor două faze, ca aburul să fie cît mai pur.

O altă caracteristică determinantă pentru regimul chimic o constituie sistemul de reglare a temperaturii aburului supraîncălzit. Această reglare are loc prin injecția de apă într-o treaptă de supraîncălzire.

Desigur, condiția chimică este ca apa care se injectează în abur să aibă calitatea cît mai apropiată de cea a aburului.

În sistemele mai vechi se folosea condensatul aburului saturat drept agent de răcire (sistemul Doležal) fără implicații asupra calității aburului.

La cazanele mai recent construite s-a trecut la folosirea apei de alimentare drept agent de răcire. În aceste condiții apare dezavantajul că apa de alimentare nu poate avea calitatea aburului, unul din impurificatori fiind și silicea coloidală.

De asemenea, în situația în care apa de alimentare este folosită drept agent de răcire, înseamnă că aceasta nu mai poate fi condiționată în scopul de a obține în apa din tambur de indicatorul referitor la alcalinitate.

Dat fiind faptul că aceste cazane se alimentează cu apă demineralizată după filtrul cu pat mixt, avînd o conductivitate electrică specifică de 0,3 μS/cm, în general cu această apă nu se poate obține o concentrare care să asigure apariția alcalinității p.

Pornind de la ipoteza că întreaga conductivitate cationică este datorată sodiului și că întreaga conductivitate anionică este conferită de ionul bicarbonat, ceea ce nu se îndepărtează prea mult de realitate și admițînd un grad de transformare $HCO_3^- \rightarrow OH^-$ de 90% purja pentru atingerea unei alcalinități p de 0,1 mval/l folosind relațiile (4) și (5):

$$P_j = \frac{m_{al} \cdot k}{p - m_{al} \cdot k} \qquad (4)$$

$$m_{al} = \gamma \cdot C_e \cdot \frac{1}{E} \qquad (5)$$

și înlocuind cu valorile aferente se obține:

$$m_{al} = 0{,}3 \frac{\mu S}{cm} \cdot 0{,}8 \frac{mg}{l} \cdot \frac{cm}{\mu S} \cdot \frac{1}{61} \cdot \frac{mval}{mg} =$$
$$= 3{,}93 \cdot 10^{-3} \text{ mval/l}$$

și

$$P_j = \frac{3{,}93 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}9}{0{,}1 - 0{,}9 \cdot 3{,}93 \cdot 10^{-3}} = 3{,}66\%.$$

Rămînînd în domeniul cazanelor de abur cu circulație multiplă și 150 bar și presupunînd că în apa de alimentare se află pe lîngă silicea reactivă (determinată prin reacția sulfomolibdenică) tot atita silice nereactivă, coloidală, vom asista la următoarele fenomene: în condițiile din cazan (temperatură, presiune) silicea coloidală trece în silice reactivă.

Așa cum se cunoaște, silicea se transferă în abur urmînd o regulă a distribuției, funcție de presiunea de regim din tambur. Pornind de la faptul că un abur, care să nu producă depuneri la nivelul paletajului turbinei, trebuie să aibă un conținut de silice care să nu depășească 0,02 ppm SiO_2, atunci conținutul de SiO_2 în apa din tambur va avea valorile din figura 1 [3].

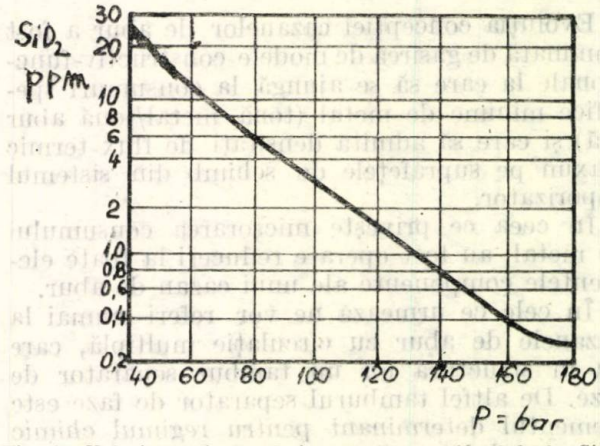


Fig. 1. Valori maxime admise pentru conținutul de SiO_2 în apa din cazan ,cînd conținutul în abur nu depășește 20 ppm SiO_2.

Examinînd curba din figura 1 rezultă că la 150 bar în tambur, corespunde pentru apa din acesta maximum 0,5 mg/kg.

Cum în general apa demineralizată, finisată prin filtrul cu pat mixt, are un conținut de silice de 0,02 ppm, pentru menținerea valorii de 0,5 ppm în tambur, servindu-ne de relația (6):

$$P_j = \frac{SiO_{2al} \cdot 100}{SiO_{2caz} - SiO_{2al}}, \%, \qquad (6)$$

se obține:

$$P_j = \frac{0{,}02 \cdot 100}{0{,}5 - 0{,}02} = 4{,}16\%.$$

Această valoare de 4,16 este mai mare decît 3,66% (purja față de alcalinitate) și deci minimum necesar de 0,1 mval/l, pentru alcalinitatea p nu se poate realiza.

Revenind la ipoteza că apa de alimentare mai conține și silice coloidală, așa cum este în realitate, atunci cuantumul de purje este mai mare, conform relației (6):

$$P_j = \frac{0{,}04 \cdot 100}{0{,}5 - 0{,}04} = 8{,}69\%.$$

O primă concluzie se desprinde: pentru realizarea alcalinității minime în apa din tambur de 0,1 mval/l este necesar ca apa de alimentare să conțină elementul generator al acestei alcalinități (ionii OH^-, HCO_3^-, OO_3^-) în cantitatea în care la o purjă între 4 și 8% să realizeze această alcalinitate.

În mod obligatoriu, pentru protejarea părții reci a circuitului unei centrale, pînă la degazor, apa de alimentare este adusă la un pH în jurul valorii de 8,0 cu o alcalie volatilă, cea mai folosită fiind amoniacul.

Trebuie menționat de la început că dozarea amoniacului va fi făcută astfel ca în aburul generat să nu se depășească 1 ppm NH_4^+ pentru a se evita coroziunea alamei de la nivelul condensatorului turbinei [4]. Aceasta presupune că apa de alimentare a fost corespunzător degazată, mai ales în privința eliminării dioxidului de carbon, consumator de amoniac.

Dacă se adaugă apei de alimentare (pornind de la pH ≅ 7,0) înainte de degazor (respectiv înainte de preîncălzitorul de joasă presiune — pjp) 0,1 ppm NH_3 se obține un pH ≅ 9,0. După degazorul termic (160° C) rămîn în apa de alimentare, condiționat de coeficientul de distribuție $\vartheta = 9$, circa 0,07 mg/kg, care conferă un pH de circa 8,75.

În cazul în care se adaugă aceeași cantitate de amoniac după degazorul termic, apa ajungînd în cazan la temperatura de 310° C, și un coeficient de distribuție $\vartheta = 3$, trec în aburul saturat circa 0,27 mg NH_3/kg. Cînd acest abur se condensează la 40° C ($\vartheta = 40$) se obține în condensat 0,17 mg NH_3/kg, pH-ul fiind circa 9,0 [5].

Variația pH-ului cu conținutul de amoniac din apă se poate vedea în figura 2 [6].

În consecință trebuie inițiată posibilitatea de a condiționa apa cu alcalii fixe pentru a realiza o alcalinitate p de minimum 0,1 mval/l, respectiv un pH > 8,3 în apa din tambur.

În conformitate cu prevederile prescripțiilor ISCIR, referitoare la regimul chimic al apei de la cazanele de abur C—18—84 pentru categoria de cazane cu circulație multiplă și presiuni peste 125 bar, alcalinitatea p trebuie să fie maximum 0,3.

Prevederile normelor R.F.G. elaborate de comisia de specialitate comună TÜV (Technische Überwachung Verein — organizație de supraveghere tehnică similară cu ISCIR) și VGB (Vereinigung der Grosskessel Betreiber — Asociația exploatatorilor de cazane mari) se specifică pentru alcalinitate aceea care să confere un pH > 8,3, adică o valoare pozitivă a alcalinității p.

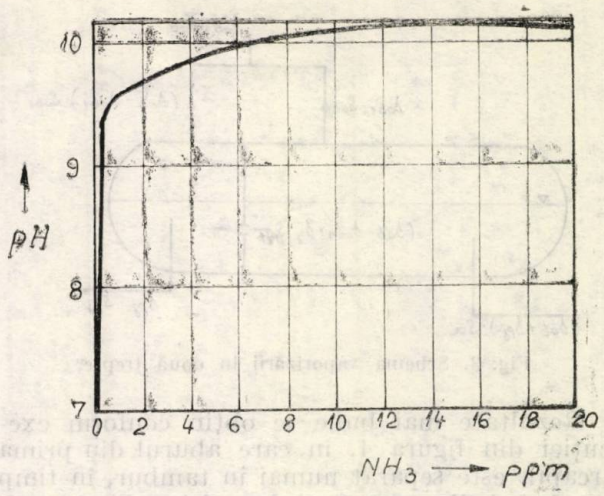


Fig. 2. pH-ul soluțiilor apoase de amoniac.

Folosind relația (7) [2]:

$$\mathrm{pH} = 11 + \lg p \qquad (7)$$

și punînd condiția pH > 8,3 se obține:

$\lg p = 8{,}3 - 11$ și $p \cong 2 \cdot 10^{-3} \simeq 0{,}002$ mval/l.

Desigur că o astfel de valoare este dificil de determinat pe cale volumetrică, mai ales folosind un indicator de culoare. Luînd în considerare sensibilitatea metodelor operative de control se poate admite drept limită minimă 0,01 mval/l, ceea ce corespunde la pH = 11 − 2 = = 9,0, valoare în concordanță cu practica.

Pentru realizarea și menținerea acestei valori minime a alcalinității p, în cazul cazanelor cu presiuni înalte, dotate cu instalații de demineralizare cu treaptă de finisare (pat mixt) la care scăpările de Na^+ sînt foarte reduse, așa cum s-a menționat, trebuie adăugate în apa de alimentare cantități foarte reduse de alcalnizant fix, respectiv hidroxid de sodiu.

Această operație este posibilă numai în cazul în care apa de alimentare nu este folosită ca agent de răcire a aburului supraîncălzit. De asemenea, în sprijinul atingerii unei cifre de concentrare, respectiv a reducerii cuantumului de purje, este necesar să se reconsidere oportunitatea vaporizării în trepte [7].

Vaporizarea în două trepte, prezentată schematic în figura 3, constă în aceea că ambele trepte de vaporizare se găsesc în același tambur. Purja primei trepte constituie apa de alimentare pentru treapta a doua, unde are loc o concentrare și de unde se practica purja cazanului; în acest fel termenul de bilanț $D_{pj}\,S_{pj}$ din relația (1) se menține la o valoare ridicată prin creșterea factorului de S_{pj} și micșorarea debitului de purjă D_{pj}.

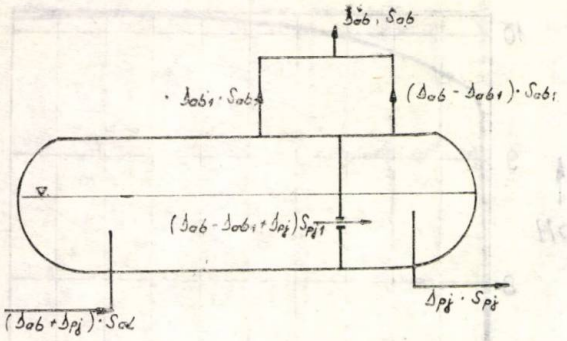


Fig. 3. Schema vaporizării în două trepte.

Rezultate mai bune se obţin conform execuţiei din figura 4, în care aburul din prima treaptă este separat numai în tambur, în timp ce aburul din treapta a doua îşi cedează umiditatea în cicloane exterioare tamburului, aburul pur revenind în tambur.

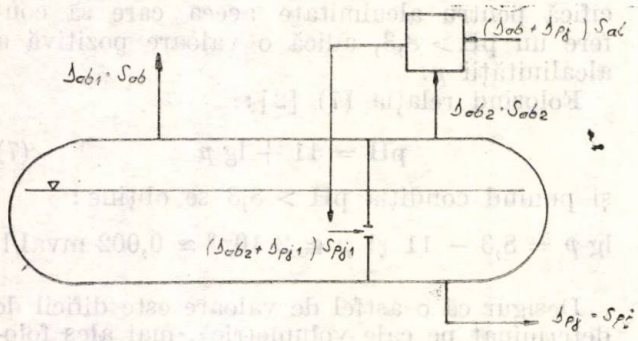


Fig. 4. Vaporizarea în două trepte cu condensarea aburului generat în treapta a doua.

Am prezentat pînă acum posibilităţile prin care se realizează şi se menţine în apa din tambur minimum de alcalinitate.

Alcalinitatea este factorul de protecţie împotriva coroziunii şi susţinerea ei a devenit acută în ultimii ani odată cu introducerea în construcţia cazanelor de abur a oţelurilor speciale, slab aliate, cu granulaţie fină avînd proprietăţi mecanice ridicate.

O compoziţie chimică medie procentuală se prezintă astfel : C = 0,14 ; Mn = 1,32 ; Si = = 0,26 ; Ni = 0,83 ; Cr = 0,51 ; S = 0,012 ; P = 0,011 ; Cu = 0,12 ; V = 0,07.

Oţelurile din această clasă sînt susceptibile la coroziunea fisurantă sub tensiune [8].

Susceptibilitatea la coroziune fisurantă sub tensiune se explică prin faptul că oţelurile aliate cu conţinut de carbon peste 0,03 mai ales peste 0,08% încălzite la temperaturi sensibile de 400 — 800° C, precipită de-a lungul grăunţilor individuali, o fază constituită dintr-o carbură complexă de fier-crom. Această fază cu o grosime de circa 1 micron, conţine mai puţin crom decît grăuntele şi este mult mai sensibilă la coroziune, posedînd un potenţial anodic mare [9].

În operaţia de sudare metalul poate fi încălzit la temperatura sensibilă. Metalul nu este slăbit din punct de vedere mecanic şi nici nu devine fragil prin precipitarea carburilor, acestea fiind supuse unei rate reduse de coroziune într-un mediu blînd. Coroziunea evoluează intergranular.

Această precipitare a carburilor poate fi evitată prin mai multe metode, şi anume : normalizarea (încălzire la 982 — 1176° C urmată de răcire rapidă) ; reducerea conţinutului de carbon ; adaos de elemente care formează carburi stabile (tantal, titan). Răcirea rapidă de la 982° C, prin domeniul sensibil, readuce carburile în soluţie, dar nu previne atacul intergranular dacă metalul este ulterior încălzit la temperatura sensibilă.

Aşa cum se cunoaşte pentru declanşarea coroziunii fisurante sub tensiune trebuie să existe în timp concomitent trei condiţii :

— susceptibilitatea metalului la coroziune fisurantă sub tensiune ;

— existenţa tensiunilor în metal ;

— prezenţa agentului corosiv.

Susceptibilitatea la coroziune fisurantă sub tensiune a fost descrisă mai sus.

Existenţa tensiunilor în metal este urmarea a două cauze : una funcţională (de serviciu) şi alta constructivă.

Cauza funcţională este datorată presiunii din sistem, care supune metalul la un efort de în-

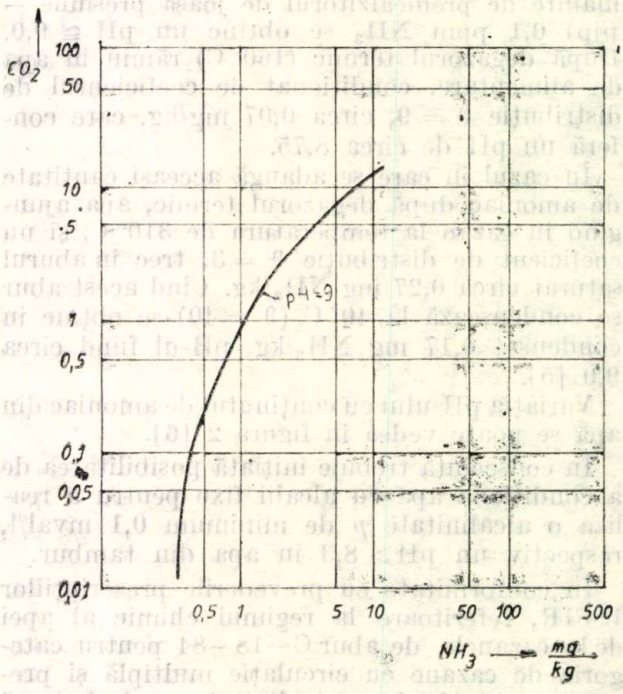


Fig. 5. Cantităţile necesare de amoniac pentru aducerea pH-ului la 9,0 la diferite concentraţii ale CO_2.

tindere. Cauza constructivă provine din prelucrarea metalului şi în special în cordoanele de sudură şi zonele de influenţă termică sau în locurile de mandrinare a ţevilor în tambur.

Desigur că locurile slabe pentru amorsarea fisurilor vor fi reprezentate de aceste zone, deci acolo unde tensiunea de serviciu se însumează cu cea remanentă, adică în cordoanele de sudură și zonele de influență termică a acestora.

Agentul corosiv, avînd în vedere că la baza fenomenului se află un proces electrochimic, trebuie căutat în apă acolo unde există ioni. Ipoteza a fost confirmată de practică. Un tambur al unui cazan de abur de 420 t/h, 150 bar, din cadrul unei centrale electrice de termoficare amplasată pe o platformă industrială, a fost avariat prin apariția de fisuri. Depistarea avariei s-a făcut cu ocazia efectuării încercării de presiune, cînd s-a semnalat o scurgere la atingerea presiunii de 190 bar, grosimea virolei tamburului fiind de 90 mm.

Fisurile au apărut în spațiul de apă al tamburului în marea majoritate și numai două fisuri în spațiul de abur (fig. 6).

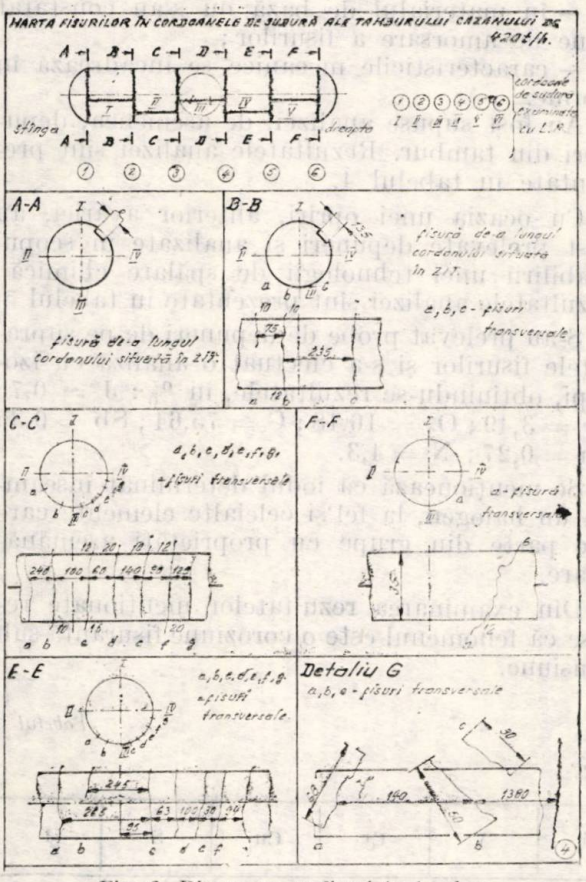


Fig. 6. Diagrama cu fisuri în tambur.

Toate fisurile au fost depistate în cordoanele de sudură, majoritatea în cele transversale și cîteva într-un cordon longitudinal, plasate în spațiul de apă.

Trebuie menționat că cele două fisuri din spațiul de abur au apărut în zona de stagnare a picăturilor, adică la un unghi de 45° față de diametrul orizontal al tamburului. Picăturile au luat naștere cu ocazia numeroaselor opriri ale cazanului; picăturile formate ca urmare a condensării pe peretele mai rece s-au saturat cu gazele din atmosferă O_2, CO_2 și eventual Cl_2 existent în aerul poluat de pe platformă.

Regimul chimic în funcționarea cazanului pe parcursul a circa 6 000 ore pînă la apariția avariei a fost următorul:

Apa de alimentare a fost constituită din apa demineralizată. Sursa pentru demineralizare este apa limpezită obținută prin coagulare, clorură ferică și var, a unei ape de suprafață și apoi filtrată mecanic.

Tabelul 1

Caracteristicile apei de alimentare

Indice	U.M.	Valori prescrise	Valori realizate
Duritate,	mval/l	nedecelabilă	nedecelabilă
pH	—	8,5 ± 1	7,0 ··· 9,0
Oxigen dizolvat	ppm	max. 0,02	0,08 ··· 1,0
Conductivitate	μS/ m	max. 0,2	6,0 ··· 10*
Silice (SiO_2)	ppm	max. 0,02	0,015 ··· 0,03
Exces N_2H_4	ppm	0,05 ··· 0,1	sporadic
Substanțe organice	ppm $KMnO_4$	max. 3	1 ··· 8

* valoare necorectată pentru adaosuri volatile

Apa demineralizată după filtrul cu pat mixt a prezentat în medie următoarea compoziție:

— conductivitate electrică specifică, μS/cm: 0,2 ··· 0,8;

— silice ionică, reactivă, SiO_2, ppm: max. 0,03;

— substanțe organice, ppm $KMnO_4$: 1 ··· 8.

Rareori s-a recuperat condensat de la unitățile industriale de pe platformă, pînă la 4% din debitul apei de alimentare. Acest condensat a fost supus demineralizării în amestec cu apa pretratată, deci calitatea condensatului nu a putut influența calitatea apei de alimentare.

La ieșirea din instalația de demineralizare, apa este tratată cu amoniac pentru corecția pH-ului la valori de 8,0 ··· 8,5.

Ca urmare a faptului că apa de alimentare a fost constituită aproape integral din apă de adaos, demineralizată, mai rece și că degazorul prezenta unele deficiențe de concepție, apa după degazor a avut în medie un conținut de oxigen de 0,1 ppm (de 50 ori mai mare decît cel stabilit prin prescripții).

Totodată pH-ul apei, supusă degazării, fiind de 8,0 ··· 8,5, eliminarea dioxidului de carbon a fost îngreunată.

Degazarea chimică, care are rolul de a elimina din apă oxigenul rezidual de la degazarea termică, a fost practicată sporadic, astfel că nu se poate vorbi de un exces de hidrazină, cerut de prescripții (0,05 ··· 0,1 ppm N_2H_4). Desigur, în cazul unei degazări termice necorespunzătoare consumul de hidrazină devine oneros.

Comparativ cu prevederile prescripțiilor tehnice C 18 ale ISCIR, referitoare la această categorie de cazane, nu au fost respectate cele impuse pentru conținutul de oxigen dizolvat, exces de hidrazină, uneori de pH și substanțe organice, așa cum reiese din tabelul 1.

Apa din cazan (tambur). Se remarcă în mod deosebit faptul că în cea mai mare parte a timpului de funcționare în apa din tambur a lipsit alcalinitatea de protecție *p*. În tabelul 2 se prezintă comparativ valorile realizate și cele prescrise.

Tabelul 2

Caracteristicile apei din cazan (tambur)

Indice	U M	Valori prescrise	Valori realizate
Alcalinitate p	mval/l	0,3...0,4	0,00...0,07
Conductivitate	μS/cm	max. 30	8...20,5
Silice (SiO_2)	ppm	max. 0,7	0,2...0,7

Menținerea unei valori pozitive a alcalinității *p* nu s-a putut realiza, pe de o parte, datorită imposibilității dozării unui alcalinizant fix în apa de alimentare și, pe de alt parte, datorită practicării unui cuantum mare de purje condiționată de silice, așa cum s-a explicat în detaliu. Tot legat de regimul chimic trebuie remarcată o particularitate constructiv-funcțională a cazanului, respectiv a tamburului în cauză, aceea că distribuția apei de alimentare în tambur se făcea prin jet descendent spre generatoarea inferioară a tamburului. De asemenea, se menționează că în timpul staționării, ca urmare a numeroaselor opriri, cazanul nu a fost supus unei conservări corespunzătoare. În aceste condiții tamburul a rămas într-o stare de umiditate, cu gazele din atmosfera industrială CO_2 și Cl_2, respectiv O_2.

În scopul stabilirii cauzelor care au contribuit la apariția avariei s-au extras carote din peretele tamburului pentru a fi supuse examinării metalografice, analizei chimice și unor încercări mecanice. Din studierea rezultatelor se desprind următoarele considerații mai importante:

— frontul de fisuri este situat preponderent în cordoanele de sudură și ZIT;

— ruperea are caracter fragil și se propagă intergranular și rareori apar zone de ramificare;

— compoziția chimică se încadrează în limitele prescrise, așa cum se poate vedea în tabelul 3;

— compoziția metalului depus se încadrează în prevederile STAS 1125-80, cu excepția conținutului de Mn care este 0,98 față de 0,80;

— prezența precipitatelor de carburi la limita grăunților austenitici;

— durităților HV se situează între 218...289 în metalul depus și 297... 345 în ZIT;

— în materialul de bază nu s-au constatat zone de amorsare a fisurilor;

— caracteristicile mecanice se încadrează în norme.

Au fost supuse analizei, de asemenea, depuneri din tambur. Rezultatele analizei sînt prezentate în tabelul 4.

Cu ocazia unei opriri, anterior avariei, au fost prelevate depuneri și analizate în scopul stabilirii unei tehnologii de spălare chimică; rezultatele analizei sînt prezentate în tabelul 5.

S-au prelevat probe de depuneri de pe suprafețele fisurilor și s-a efectuat o analiză cu izotopi, obținîndu-se rezultatele, în %: J = 0,7; Cr = 3,49; O_2 = 16,18; C = 75,64; Sb = 0,3; Sn = 0,27; N = 4,3.

Se menționează că iodul determinat înseamnă un halogen, la fel și celelalte elemente care fac parte din grupe cu proprietăți asemănătoare.

Din examinarea rezultatelor menționate reiese că fenomenul este o coroziune fisurantă sub tensiune.

Tabelul 3

Compoziția chimică, %

Elementul	C	Mn	Si	Mo	Ni	V	Cr	Cu	S	P
Proba	0,15	1,46	0,24	0,54	0,75	0,06	0,13	0,14	0,009	0,01
Norma Marelli	max. 0,15	1,95	0,30	0,55	0,90	0,08	max. 0,25	max. 0,20	max. 0,015	max. 0,01

Tabelul 4

Compoziția chimică a depunerilor, %

Fe_2O_3=89,3	Cr=0,1	Cu=0,065	Ni=0,285	Mo=0,13	V=0,4

Tabelul 5

Compoziția depunerilor din cazan, %

Solubile în apă 0,52			Insolubile în apă 99,48						
p	m	$Ca^{++}+Mg^{++}$	Fe_2O_3	Al_2O_3	PO_4^{-3}	SiO_2	SO_4^{-2}	Cu^{+2}	$Ca^{++}+Mg^{++}$
0,0	0,4	0,0	92,10	1,00	0,87	0,54	0,70	4,25	0,00

Din punctul de vedere al regimului chimic se menționează :

a) lipsa alcalinității de protecție deci funcționarea la un pH <7 în cazan, care a favorizat acțiunea corosivă a oxigenului și ionilor de clor din apa de alimentare ;

b) prezența oxigenului în medii cu valori ale pH-ului sub 7 are un rol decisiv în declanșarea coroziunii fisurante sub sarcină [10]. Acțiunea corosivă a oxigenului a fost favorizată și de modul necorespunzător al introducerii apei de alimentare în tambur ;

c) admițind că în lipsa alcalinității p, electrolitul care conferă conductivitatea apei din tambur a fost clorura de sodiu, respectiv ionii de Na^+ și Cl^- ,adică cei doi ioni care marchează punctele de străpungere în lanțul de demineralizare, atunci concentrația ionului clor a fost :

— conductivitatea apei din tambur : 8 ··· 20 μS/cm ;

— conductivitatea specifică a NaCl : 0,46 ppm/μS/cm ;

— concentrația ionilor Cl în tambur : 2,2 ... ... 5,5 ppm.

Ionii de clor împreună cu oxigenul dizolvat acționează printr-un sinergism în cadrul unui proces complex de atac oxidant accelerînd declanșarea coroziunii fisurante sub tensiune [11].

În lucrarea [12] autorul, pe baza datelor experimentale, afirmă : „chiar la concentrații de cloruri de 0,1 ppm se poate declanșa coroziunea fisurantă sub tensiune... Acțiunea agresivă a clorurilor crește repede cu creșterea temperaturii. Valori scăzute ale pH-ului mărește pericolul coroziunii fisurante sub tensiune, în timp ce valori ridicate ale pH-ului acționează protector... Proprietățile redox ale mediului au o influență hotărîtoare, coroziunea fisurantă sub tensiune este posibilă numai cînd proprietățile oxidante ale soluției agresive depășesc un minimum sau altfel spus în condiții suficient de reducătoare nu apare coroziunea fisurantă sub tensiune".

Se consideră că agenții corosivi care pot fi luați în considerare sînt : conținutul de oxigen dizolvat din apa de alimentare și ionii de clor concentrați în apa din tambur în absența alcalinității protectoare.

Nu trebuie neglijată nici constatarea prezenței cuprului în depunerile prelevate din tambur. Datorită unei degazări necorespunzătoare adosul de amoniac pentru corectarea pH-ului apei de alimentare a depășit 1 ppm NH_4^+ (fig. 6), maximum admis, și astfel a fost posibilă dislocarea unor cantități de cupru din țevile condensatorul turbinei. De altfel, prezența pittingurilor în materialul de bază al tamburului confirmă ipoteza.

Ceilalți doi factori care contribuie la declanșarea și evoluția coroziunii fisurante sub tensiune, respectiv tensiunea de serviciu și tensiunile remanente și susceptibilitatea metalului sînt inevitabile. Desigur, trebuie ținut seama și de calitatea sudurilor și tratamentului termic aplicat, care trebuie să se încadreze în prevederile normelor.

Pentru readucerea cazanelor cu circulație multiplă la un regim sigur de funcționare, în construcția cărora intră oțeluri slab aliate de rezistență mare și pentru evitarea coroziunii fisurante sub tensiune se recomandă :

1. Menținerea în apa din tambur a unei valori pozitive a alcalinității p de maximum 0,3 .. .. 0,4 mval/l, valoarea optimă urmînd a fi stabilită prin încercări termochimice [13].

2. Studierea trecerii pe vaporizarea în două trepte în scopul reducerii cuantumului de purje impus de prezența silicei coloidale.

3. Folosirea drept agent de reglare a temperaturii aburului supraîncălzit a condensatului provenit din abur saturat (sistem Doležal) [7].

4. Reconsiderarea modului de introducere a apei de alimentare în tambur.

5. Studierea introducerii, în sistemul de furnizare a aburului ca agent termic, a transformatoarelor de abur, pentru reducerea cuantumului de apă de adaos și îmbunătățirea balanței apă — abur — condensat.

6. Îmbunătățirea procesului de degazare termică prin restudierea treptei de preîncălzire înainte de degazor funcție de structura balanței apă — abur — condensat.

7. Asigurarea degazării chimice și excesului de hidrazină.

8. Controlul riguros al degazării CO_2 și al adaosului de amoniac pentru evitarea atacului alamei din construcția condensatorului turbinei.

Semnificațiile simbolurilor folosite

D_{al} — debitul apei de alimentare, kg/s,
D_{ab} — debitul aburului generat de cazan, kg/s
D_{pj} — debitul purjei, kg/s,

S_{al} — salinitatea apei de alimentare, mval/kg, sau ppm,

S_{ab} — salinitatea în abur,

S_{pj} — salinitatea în purjă,

S — transportul de săruri către stratul laminar, mol/m² h,

Q — fluxul termic specific, kcal/m² · h,

P_j — cuantumul de purjă continuă, % din abur,

m_{al} — alcalinitatea totală a apei de alimentare, mval/l,

k — coeficient referitor la transformarea ionului HCO_3^- în ioni OH, la 150 bar = 0,9,

p — alcalinitatea caustică a apei din tambur, mval/l,

γ — conductivitatea electrică specifică a apei, μS/cm,

C_e — conductivitatea electrică specifică a unui ion sau substanţe, $\frac{mg}{l} \cdot \frac{cm}{\mu S}$,

E — echivalentul chimic al unei substanţe sau ion, mg/mval,

Bibliografie

[1] Negulescu, L., Fodor, C. *Tratarea apei şi regimul chimic în centrale electrice.* IPB, 1980.

[2] Hömig, H. *Speisewasserchemie.* Ed. Vulkan Essen, 1973.

[3] * * * *Richtwerte für Kesselwasser.* În: Mitteilungen de V.G.B. nr. 66, 1960, p. 158.

[4] * * * C 18 — 80. *Prescripţii tehnice pentru indicii regimului chimic al generatoarelor de abur şi apă fierbinte.* ISCIR, Bucureşti.

[5] Stanisavlievici, L. *Eine nationalisierung der alkalische Fahrweise.* În: Wärme nr. 84, caiet 4, p. 81 — 83.

[6] Splittgerber, A. *Wasseraufbeeitung im Dampfkraftbetrieb.* Ed. Springer, 1964.

[7] Doležal, R. *Hochdruck Heissdampf.* Ed. Vulkan, Essen, 1976.

[8] Pavel, A. În: Revista de chimie, nr. 10, 11/1987 şi 1/1988.

[9] La Que, F., Copson, H. *Corrosion Resistance of Metals and Alloys*, ediţia II-a. Ed. Reinhold Publishing Corporation Londra, 1963.

[10] Popa, M. *Influenţa oxigenului în procesul coroziunii fisurante sub tensiune.* În: Revista de chimie, nr. 3, 1981, p. 268 — 273.

[11] Rädeker, W. *Spannungsrisskorrosion an niedriglegierten Stählen für Dampfkesselbau.* În: Mitt. der VGB, oct. 1981, p. 322 — 344.

[12] Risch, K. *Nachbehandlung von Halbzeugen und Apparaten aus austenitische Stählen zur Vermeidung von Spannungsrisskorrosin.* În: Chem. Ing. Tech. 51 (1979) nr. 5, p. 402 — 406.

[13] * * * C 32 — 80 *Prescripţii tehnice pentru efectuarea încercărilor termochimice la cazanele de abur.* ISCIR, 1980.

(Primit la 3 noiembrie 1989, acceptat la 2 aprilie 1990)

Organizarea producţiei şi a muncii

Aspecte privind proiectarea sistemelor expert pentru conducerea activităţii într-o staţie electrică

Conf. dr. ing. MIRCEA EREMIA, lector dr. ing. EMIL SCARLAT*

Descriptori: staţii electrice sisteme expert

In lucrare sînt prezentate o serie de aspecte privind proiectarea bazei de cunoştinţe a unui sistem expert (SE) pentru conducerea activităţii într-o staţie electrică.

The paper presents a series of aspects regarding knowledge basis design within an expert system for the activity management in a substation.

Introducere

Operatorul unei staţii electrice dispune, pentru dispecerizarea acesteia, de un volum însemnat de informaţii de natură foarte diversă (măsurări de tensiuni, puteri electrice, semnalizări acustice, luminoase şi altele) pe care trebuie să-l prelucreze într-un timp scurt (în cazul unui incident, de ordinul secundelor), utilizînd cunoştinţe bine structurate, achiziţionate anterior şi parţial prevăzute în „Regulamentul de exploatare tehnică a centralelor şi reţelelor electrice". Pentru a adopta o decizie (a restabili, de exemplu, o situaţie normală), operatorul are la dispoziţie un timp scurt, iar deciziile sînt de natură diversă, mai ales în condiţiile în care în anumite situaţii se pot declanşa incidente în cascadă.

În acest context, introducerea unor mijloace de conducere tot mai perfecţionate, începînd cu nivelurile de bază ale Sistemului Energetic Naţional (centrale şi staţii electrice, mari consumatori industriali) şi continuînd cu diferitele trepte de dispecer (DED, DET, DEN) este o

* Conf. dr. ing. Mircea Eremia, lector dr. ing. Emil Scarlat — Facultatea de Energetică, Institutul Politehnic, Bucureşti

necesitate impusă de cerința sporirii eficienței exploatării și siguranței în funcționare a acestuia.

1. Posibilități de utilizare a sistemelor expert în stațiile electrice

În continuare vor fi prezentate o serie de aspecte legate de posibilitățile și limitele introducerii sistemelor expert în conducerea stațiilor electrice.

Sistemul expert (SE) este un sistem bazat pe cunoștințe care rezolvă probleme nestructurate sau slab structurate la nivelul unui expert uman. În ultimul timp SE au cunoscut o mare extindere și și-au găsit aplicabilitate într-o diversitate de domenii : medicină, tehnica de calcul, geologie, matematică, agrotehnică, chimie, biologie, electronică, conducere etc. Se apreciază că, în prezent, în lume sînt diverse stadii de existență, de la cel comercial pînă la cel de prototip demonstrativ, în jur de 800 SE. Dacă în 1984 cifra de afeceri a firmelor din Europa care au vîndut SE a fost de 37 milioane de dolari se extimează că în 1990 aceasta va crește de circa 100 ori [1].

Experiența acumulată pînă în prezent în proiectarea și introducerea SE în energetică este incipientă și se referă, de regulă, la sistem de analiză on-line a funcționării protecțiilor unor linii electrice, de diagnostic post-factum al incidentelor produse și al manevrelor efectuate, de supraveghere a funcționării reactoarelor din centralele nuclearoelectrice [3, 4].

Posibilitățile de utilizare a SE în domeniul energeticii sînt însă mult mai largi, avînd în vedere mai ales structura și funcționalitatea de sistem cibernetic complex a sistemului energetic național, modalitățile de interconectare dintre diferitele trepte de dispecer, precum și extinderea rapidă în conducerea stațiilor și centralelor electrice a echipamentelor de calcul și de automatizare.

În ceea ce privește perspectivele introducerii SE în conducerea stațiilor și rețelelor electrice, în literatura de specialitate se configurează trei etape principale [7] :

— Într-o primă etapă ȘE de tip ASISTENT OPERATOR, avînd ca principale obiective pe termen scurt : elaborarea foilor de manevre, controlul on-line al puterii transportate, asistență în detectarea problemelor de sistem și în alegerea celor mai adecvate metode de analiză, precum și punerea la dispoziție a unei interfețe inteligente pentru utilizarea software-ului aplicativ avansat. Pe termen lung, se propune dezvoltarea unui ansamblu integrat și omogen de aplicații inteligente destinate asistării operatorului din stația electrică în activitatea sa. Astfel de aplicații pot fi : modificarea în timp real a limitelor de putere transportată, pregătirea schemelor de protecție, actualizarea permanentă a schemelor grafice de funcționare, analiza unor incidente și avarii etc.

— SE de tip *asistent operator inteligent* care constituie etapa a doua, dispun de mai multe funcții prin care metodele specifice inteligenței artificiale asistă operatorul uman atît în definirea problemelor, cît și în rezolvarea lor. În același timp, SE de acest tip vor avea o interfață utilizator „prietenoasă", flexibilă, unificată și eficientă, ceea ce va permite un transfer de cunoștințe de la utilizatorii cu experiență la operatori. În prima fază, acest SE va include funcții cum sînt estimarea de stare, analiza de contingențe, asistarea operatorului în efectuarea manevrelor de lichidare a incidentelor și avariilor etc. Avînd o arhitectură modulară, deschisă spre noi aplicații, SE de tip asistent operator inteligent va include noi funcții, mai complexe, care necesită un volum tot mai mare de cunoștințe provenind de la experți din diferite domenii. Astfel de aplicații sînt : evaluarea rezervei de putere activă și reactivă, urmărirea unor indicatori ai siguranței în funcționare, optimizarea regimurilor de funcționare a sistemului și altele.

— Sisteme expert de conducere, inteligente, care vor juca un rol important atît la nivelurile de bază ale SEN, cît și la diferitele niveluri de dispecer, inclusiv la nivelul DEN. Pe termen scurt aplicația cea mai probabilă privește interpretarea inteligentă a semnalizărilor și mesajelor primite din stații telecomandate sau de la dispecerate. Pe termen lung se prevede includerea protecțiilor (inclusiv cele numerice) și a automatizărilor inteligente, a sistemelor expert în timp real, cît și trecerea la conceperea dispecerului inteligent de mîine.

Principalele efecte ale introducerii SE în energetică privesc îmbunătățirea calității energiei electrice, reducerea costurilor de exploatare și creșterea siguranței în funcționare a sistemului energetic național și a subsistemelor sale componente.

2. Definirea funcțiilor SE de tip „asistent operator"

În raport cu stadiul dotării cu echipamente de măsură, rețele de transmisie a datelor, calculatoare de proces, precum și a software-ului existent, dezvoltarea SE necesită realizarea în primul rînd a unui sistem de tip „asistent operator".

Principalele funcții cu care să fie înzestrat acesta sînt următoarele :

a) Asistarea operatorului în conceperea și executarea diferitelor tipuri de manevre (curente, programate, de lichidare a unor incidente și avarii etc.), care ocupă un volum important de timp. Sistemul expert, pornind de la starea operativă a echipamentului (instalației), recunos-

cută cu ajutorul bazei de date și a informațiilor suplimentare cerute dispecerului, stabilește succesiunea operațiilor și grupelor de operații care conduc la starea operativă dorită, elaborînd o foaie de manevră (în cazul manevrelor programate normal, programate accidental și al manevrelor curente). Odată cu trecerea la treapta următoare de „asistent operator inteligent", SE va putea interveni și în cazul manevrelor de lichidare a incidentelor și avariilor, punînd la dispoziția operatorului variante de manevre destinate izolării defectului și restabilirii alimentării consumatorilor.

b) Analiza post-factum a incidentelor și avariilor din cadrul stației. După producerea unei avarii, în funcție de natura acesteia (avarii produse de echipamente sau datorate unor erori umane), SE, pe baza înregistrărilor existente, ajută la stabilirea echipamentelor implicate în avarie și a cauzelor posibile.

c) Avertizarea operatorului și dispecerului ierarhic superior despre posibile incidente și avarii în urma modificării unor parametrii față de funcționarea normală a sistemului (frecvență, tensiune, scheme), sesizată de semnalizări, măsurări, protecții și automatica de sistem.

Introducerea unui SE de tip „asistent operator" presupune existența la nivel de stație electrică a unui sistem de achiziție de date care să permită ținerea la zi a configurației și stării de funcționare a subsistemului din subordinea stației, precum și a elementelor necesare trecerii la telesemnalizare, telemăsură, telecomandă și telereglaj.

3. Structura și funcționarea SE de tip „asistent operator"

Arhitectura generală a unui SE (fig. 1) include baza de cunoștințe, motorul de inferență, interfața utilizatorului și modulul de achiziționare a cunoștințelor.

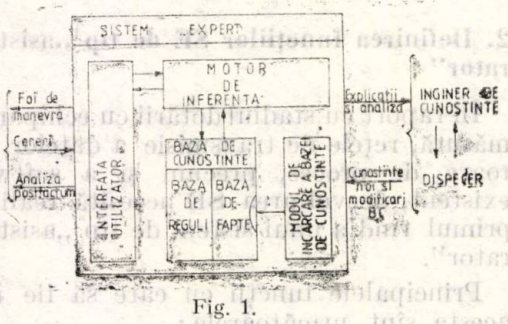


Fig. 1.

3.1. Baza de cunoștințe

Baza de cunoștințe cuprinde, în principal, cunoștințele necesare unui dispecer pentru a adopta decizii corecte în rezolvarea problemelor puse de conducerea stației electrice. Acestea se structurează în trei mari categorii: cunoștințe descriptive, cunoștințe privind logica de funcționare a protecțiilor și cunoștințe privind efectuarea manevrelor.

Cunoștințele descriptive privesc structura stației electrice, topologia sistemului de bare și a liniilor electrice, diferitele protecții și automatizări existente în stație etc. Caracterul bine structurat și ierarhizat al acestor cunoștințe se datorește faptului că ele sînt asociate unor obiecte bine delimitate din cadrul stației a căror funcționare și conexiune cu celelalte obiecte este cunoscută de operator sau de expertul uman. Un obiect va reprezenta, deci, o instalație, echipament, protecție, linie electrică, sistem de bare și altele, din cadrul unei stații electrice, căruia îi sînt asociate informații și cunoștințe accesibile operatorului de stație. Obiectele pot intra într-o multitudine de relații, începînd cu cele prin care un obiect aparține unui obiect de nivel superior (un întrerupător aparține unei celule de linie, de exemplu) și terminînd cu cele prin care între diferite obiecte se stabilesc condiționări logice și temporale, ce le determină funcționarea (un separator de linie se poate închide/deschide dacă întrerupătorul corspunzător este deschis, de exemplu).

Cunoștințele privind logica de funcționare a protecțiilor sînt asociate cu semnalizările de natură diferită existente în cadrul unei stații electrice: prezența tensiunii pe linii, funcționarea protecțiilor, lipsa de tensiune în circuitul protecției de distanță, semnalizări luminoase intermitente la dispozitivul de acționare a întrerupătoarelor etc. Dispecerul asociază aceste semnalizări cu diverse stări ale echipamentelor sau protecțiilor și automatizărilor acestora. Asemenea cunoștințe se pot reprezenta sub formă de reguli relativ stabile, întrucît ele rămîn neschimbate atîta timp cît schema electrică a stației rămîne nemodificată.

Cunoștințele privind condițiile și restricțiile de efectuare a manevrelor sînt extrem de variate, ele fiind cele care asigură unitatea de exprimare, înțelegere și a operatorului de stație. Aducerea echipamentelor în diverse stări (în funcțiune, disponibil în rezervă caldă, disponibil în rezervă rece, indisponibil în stare caldă, indisponibil în stare rece, deconectat, separat vizibil, legat la pămînt) se realizează prin manevre — care constituie grupe de operații prin care se schimbă starea operativă a echipamentelor (elementelor) sau schema de conexiuni în funcțiune. Trecerea unui echipament dintr-o stare operativă în alta necesită elaborarea de către dispecer sau operator a unei foi de manevră.

În componența bazei de cunoștințe, aceste cunoștințe sînt structurate sub forma faptelor și regulilor. *Faptele* reprezintă partea dinamică a bazei de cunoștințe și ele au rolul de a repre-

zenta starea obiectelor la un anumit moment de timp. Ele se modifică, deci, pe măsură ce stările obiectelor cărora le sînt asociate se schimbă (datorită unor avarii sau incidente, a efectuării unor manevre, a schimbării configurației de funcționare și altele).

Regulile reprezintă partea stabilă a bazei de cunoștințe, ele modificîndu-se mult mai rar, ca urmare, de exemplu, a unor schimbări în *Regulamentul de exploatare tehnică a centralelor și rețelelor electrice*. În esență, regulile constituie un ansamblu complet și necontradictoriu de cunoștințe necesare rezolvării unor probleme (restabilirea situației normale în urma unei avarii, efectuarea unor manevre etc.).

Datorită naturii și rolului lor diferit, faptele și regulile intră în bază de cunoștințe în două componente separate ale acesteia: baza de fapte și baza de reguli.

Baza de fapte (BF) corespunde, în cea mai mare parte, cunoștințelor descriptive, iar un fapt are o reprezentare de formă:

(⟨Obiect⟩, ⟨Relație⟩, ⟨Valoare⟩).

⟨Obiect⟩ reprezintă o unitate de echipament din cadrul stației (sistem de bare, întrerupător, separator, cuțit de legare la pămînt, protecție etc.) a cărei stare poate fi stabilită printr-o semnalizare, verificare sau deducție logică.

⟨Relație⟩ corespunde unei relații între obiecte sau între obiecte și diferite stări în care se pot afla acestea.

⟨Valoare⟩ poate fi un obiect sau o stare pe care o poate lua un obiect-sursă (aflat în stînga tripletului de mai sus).

Un fapt (a R b) se poate deci interpreta ca „R(a) = b". De exemplu, în figura 2 se prezintă o schemă simplificată a unei celule de linie. Baza de fapte asociată acestei scheme este următoarea:

(⟨SB_1 LEA 110 kV AB⟩ ⟨ESTE ÎN POZIȚIA⟩ ⟨X⟩);
(⟨SB_2 LEA 110 kV AB⟩ ⟨ESTE ÎN POZIȚIA⟩ ⟨X⟩);
(⟨I_{110} LEA 110 kV AB⟩ ⟨ESTE ÎN POZIȚIA⟩ ⟨Y⟩);
(⟨SL LEA 110 kV AB⟩ ⟨ESTE ÎN POZIȚIA⟩ ⟨X⟩);
(⟨clp SL LEA 110 kV⟩ ⟨ESTE ÎN POZIȚIA⟩ ⟨X⟩);
unde variabila X = {ÎNCHIS; DESCHIS}
Y = {CONECTAT; DECONECTAT}

În reprezentarea externă, baza de fapte este o succesiune de triplete (obiect, relație, valoare):

$$BF = \{a_i\ R_j\ b_k / i \in I,\ j \in J,\ k \in K\}$$

unde I este mulțimea indicilor obiectelor, J mulțimea indicilor relațiilor, iar K mulțimea indicilor valorilor ($I' \cap K \neq 0$).

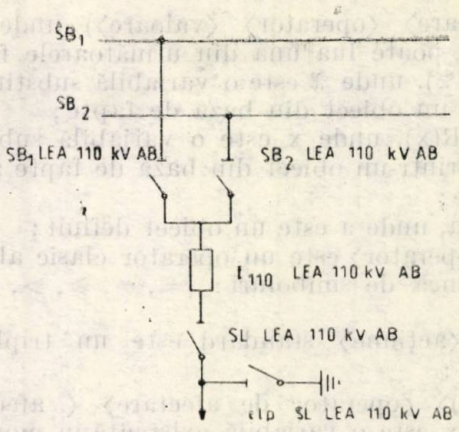


Fig. 2.

În reprezentare internă, baza de fapte este organizată în trei fișiere: fișierul obiectelor, fișierul de relații și fișierul relațiilor obiect-valoare.

Fișierul obiectelor cuprinde cîte o înregistrare pentru fiecare obiect identificat în cadrul stației. În această înregistrare se cuprind codul obiectului, denumirea în clar a obiectului, o serie de caracteristici tehnico-funcționale ș.a.

Fișierul de relații include înregistrări cu ajutorul cărora se descriu detaliat toate tipurile de relații care se identifică între obiectele stației electrice sau între acestea și anumite variabile logice sau temporale. Exemple de relații: ⟨ESTE ÎN POZIȚIA⟩, ⟨ACȚIONEAZĂ ÎNAINTE⟩, ⟨SE CONECTEAZĂ DUPĂ⟩, ⟨APARȚINE⟩ etc.

Fișierul relațiilor obiect-valoare este cel care instanțiază starea reală a fiecărui obiect din cadrul stației electrice. Un obiect poate avea în acest fișier mai multe înregistrări, cîte una pentru fiecare relație ce poate caracteriza obiectul respectiv.

La început, în partea ⟨valoare⟩ a acestor înregistrări apar variabile (de tip X, Y etc.) care, în cursul funcționării sistemului își modifică valoarea în raport cu starea reală în care trec obiectele respective. De exemplu, înregistrarea:

(⟨SB_1 LEA 110 AB⟩ ⟨ESTE ÎN POZIȚIA⟩ ⟨X⟩)
va fi, la un anumit moment de timp sub forma:
(⟨SB_1 LEA 110 kV AB⟩ ⟨ESTE ÎN POZIȚIA⟩ ⟨DESCHIS⟩).

A doua componentă principală a bazei de cunoștințe este *baza de reguli* (BR).
Regulile se reprezintă în baza de cunoștințe sub forma regulilor de producție:

Regula nr. n:
DACĂ ⟨condiție⟩ ... ⟨condiție⟩
ATUNCI ⟨acțiune⟩.
O ⟨condiție⟩ este un triplet de forma:

(⟨valoare⟩ ⟨operator⟩ ⟨valoare⟩) unde ⟨valoare⟩ poate lua una din următoarele forme :

— ($\mathfrak{X}$), unde $\mathfrak{X}$ este o variabilă substituibilă printr-un obiect din baza de fapte ;

— R(x), unde x este o variabilă substituibilă printr-un obiect din baza de fapte și R o relație ;

— a, unde a este un obiect definit ;

iar ⟨operator⟩ este un operator clasic ales din mulțimea de simboluri : {=, ≠, ≥, >, ≤, <, : =}.

O ⟨acțiune⟩ standard este un triplet de forma :

(⟨R(x)⟩ ⟨operator de afectare⟩ ⟨ afectare⟩) unde x este o variabilă existentă în mod obligatoriu în partea de ⟨condiție⟩ și care este substituibilă prin obiecte verificînd aceste condiții, iar R este o relație. ⟨operator de afectare⟩ este unul din simbolurile „←” sau „⇐” care corespund unei afectări cu înlocuire, respectiv fără înlocuire, iar ⟨afectare⟩ este fie o ⟨valoare⟩, fie rezultatul unui calcul pe baza mai multor valori.

În continuare se dau exemple de reguli din BR, cu referire la figura 2 :

Regula nr. 12

Dacă : SB_1 LEA 110 kV AB = ÎNCHIS, SB LEA 110 kV AB = DESCHIS, I_{110} LEA 110 kV AB = ÎNCHIS, SL LEA 110 kV AB = ÎNCHIS, clp SL LEA 110 kV AB = DESCHIS,
Atunci : I_{110} LEA kV AB ⇐ DESCHIS
Pauză →

Regula nr. 14

Dacă : I_{110} LEA 110 kV AB = DESCHIS
Atunci : SB_1 LEA 110 kV AB ⇐ DESCHIS

Un număr de alte acțiuni se poate defini în cadrul bazei de cunoștințe ; astfel se pot introduce calcule cu obiecte, apelarea unor subprograme, precum și funcții cu ajutorul cărora se actualizează baza de cunoștințe (procedurile AVANS, RECUL, PRELUCRARE etc.)

În reprezentare externă, baza de reguli se prezintă ca o succesiune de reguli de producție, a căror sintaxă a fost prezentată mai sus.

În reprezentare internă, regulile alcătuiesc structuri înlănțuite, ale căror noduri sînt reguli de producție, iar prin arce se indică succesiunea obligatorie de prelucrare a acestora (fig. 3) (Th — teoremă ≡ regulă).

Aceste structuri sînt reprezentate în fișierul de reguli.

După realizarea bazei de fapte și a celei de reguli, se determină legăturile existente între diferitele elemente informaționale ale acestora. Principalele tipuri de legături care se pot defini sînt cele dintre valorile ⟨condițiilor⟩ și diferite fișiere ale bazei de fapte, dintre ⟨acțiunile⟩ unei reguli și ⟨condițiile⟩ altei reguli și dintre valorile ⟨condițiilor⟩ unei aceleiași reguli. Fiecare dintre aceste legături se reprezintă în baza de reguli cu ajutorul unui fișier.

În ceea ce privește legăturile dintre valorile ⟨condițiilor⟩ în fișierele bazei de fapte, dacă o valoare este de tip (x) ea este substituibilă printr-un obiect oarecare din baza de fapte,

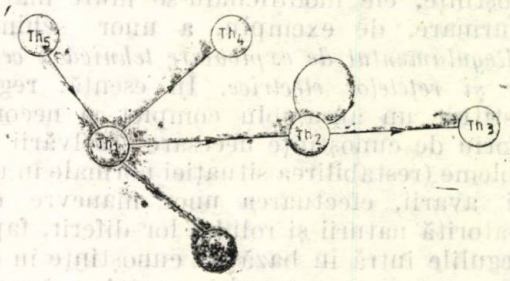


Fig. 3.

deci legătura se face cu fișierul obiectelor. Dacă ea este de tip R(x), atunci această valoare nu privește decît obiectele legate prin relația R, din fișierul obiectelor sau al relațiilor obiecte-valori. În sfîrșit, dacă o valoare este de tip „a”, singura informație interesantă este confirmarea prezenței sale în fișierul de obiecte.

Fișierul care corespunde legăturilor ⟨acțiune⟩ — ⟨condiții⟩ reprezintă, plecînd de la fiecare regulă, mulțimea eventual vidă, de reguli afectate prin îndeplinirea acțiunilor acesteia. Aceste mulțimi alcătuiesc grafele de reguli.

Ultimul tip de legătură este cea dintre ⟨valorile⟩ și ⟨condițiile⟩ uneia și aceleiași reguli. Este evident că alegerea obiectului care va substitui variabila $\mathfrak{X}$ într-una din valori are o incidență directă asupra următoarelor alegeri privind altă valoare. Acest fenomen, numit propagarea restricțiilor asupra variabilei constă efectiv din impunerea unor restricții de disponibilitate asupra substituțiilor satisfăcînd condițiile unei reguli. Este necesar deci, ca, plecînd de la o ⟨valoare⟩ să se desemneze ansamblul, eventual vid, de ⟨acțiuni⟩ ale aceleiași reguli pe care le determină valoarea respectivă.

Fișierele bazei de cunoștințe și principalele legături dintre ele se reprezintă în figura 4.

3.2. Motorul de inferență

Motorul de inferență efectuează asupra bazei de cunoștințe o serie de inferențe logice care se desfășoară pe mai multe niveluri în care este structurat domeniul problemă. Astfel, se consideră, în cazul de față, trei niveluri : nivelul fiecărui echipament, nivelul unei linii electrice și nivelul stației. La primul nivel se examinează coerența logică și temporală a informațiilor privind funcționarea anumitor obiecte implicate în procesul de inferență. Din baza de reguli se aleg acele reguli care implică în partea de

⟨condiții⟩ sau ⟨acțiune⟩ obiectivul respectiv. După alegerea tuturor regulilor, ele sînt instantiate (se înlocuiesc variabilele prin valori) cu ajutorul informațiilor din baza de fapte. Urmează apoi etapa de execuție a procesului de inferență, care generează fie acțiuni, fie noi informații care actualizează baza de fapte (fig. 5).

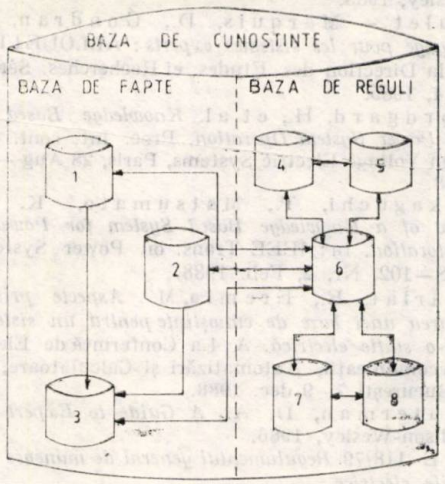


Fig. 4. 1 — fișierul ⟨obiectul⟩; 2—fișierul de relații; 3—fișierul relațiilor < obiect > <valoare> ; 4 — fișierul de reguli; 5 — fișierul grafelor de reguli; 6 — fișierul legăturii cu BF; 7 — fișierul legăturilor <acțiuni> — <condiții> ; 8 — fișierul legăturilor < valori> — <condiții >

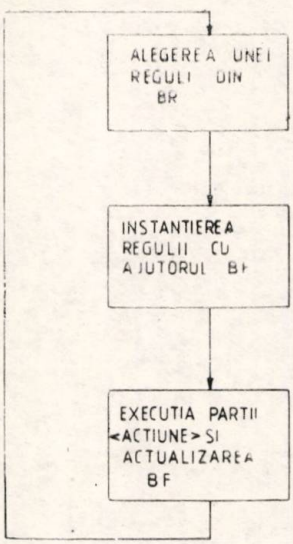


Fig. 5.

Procesul de inferență se oprește după parcurgerea, în ordinea dată de graful de reguli, a tuturor regulilor care implică în structura lor obiectivul respectiv sau sînt consecințe a unor astfel de reguli.

Inferența este mult simplificată dacă, pe mulțimea regulilor se introduc metareguli. De exemplu, graful de reguli poate fi descris cu ajutorul relației ⟨EXISTA UN LANȚ⟩ care se asociază fiecărui drum din graful respectiv. Cu ajutorul acestei relații se pot determina, mai întîi înlănțuirile existente între reguli, ca apoi fiecare dintre acestea să fie examinată în raport cu valorile pe care le iau variabilele din partea de ⟨condiții⟩. Cu ajutorul unor coeficienți de verosimilitate se asociază fiecărei reguli un „cost de aplicare a regulii" cuprins între 0 și 1. Acest cost este 0 dacă informațiile din partea de ⟨condiții⟩ a regulii nu permit examinarea acesteia (de exemplu în cazul în care variabilele nu sînt actualizate) și este cu atît mai aproape de 1 cu cît crește complexitatea condițiilor ce trebuie examinate.

Alegerea unui lanț de reguli și executarea acestora se face prin minimizarea sumei costurilor asociate regulilor din cadrul lanțului, cu condiția ca fiecare regulă să aibă acest cost diferit de zero.

3.3. Interfața utilizator

Interfața utilizator constituie componenta SE cu ajutorul căreia se poartă dialogul între operator și sistem, se introduc informațiile privind starea actuală a obiectelor din cadrul stației electrice (cu posibilitatea ca, pentru principalele obiecte ,aceasta să se facă cu ajutorul unor calculatoare de proces), se apelează software-ul asociat SE, se pot obține reprezentări grafice ale schemei stației, a stării echipamentelor, semnalizărilor, protecțiilor și automatizărilor etc.

3.4. Modulul de achiziționare a cunoștințelor

Modulul de achiziționare se utilizează pentru actualizarea diferitelor componente ale bazei de cunoștințe, în raport cu modificările intervenite în starea obiectelor, a cunoștințelor privind funcționarea și relațiile dintre aceste obiecte etc . Acest modul joacă un rol important în etapa experimentală a funcționării SE cînd pot apărea multe mofidicări în structura bazei de cunoștințe, de exemplu prin introducerea de noi reguli.

Concluzii

În conceperea și introducerea sistemelor expert în energetică trebuie avut în vedere permanent că omul va rămîne principalul element de decizie, SE asistîndu-l în această activitate în situații excepționale (incidente, avarii etc.) sau rutiniere — pentru a-l elibera de anumite sarcini și a-i da posibilitatea să se concentreze pe acele activități care implică în mod necesar elementul uman în alegerea și executarea acțiunilor. SE trebuie considerat ca un auxiliar și nu ca o alternativă la funcțiile actuale ale dispecerilor. În acest sens, apare necesitatea ca viitoarele SE să fie integrate echipamentelor și mijloacelor de calcul specifice dispecerelor, să

utilizeze într-o măsură deplină datele culese on-line din reţeaua electrică, bazele de date structurate la anumite niveluri de dispecer, precum şi modalităţile de comunicaţie cu care este obişnuit operatorul.

Datorită flexibilităţii sale, constînd în principal din posibilitatea modificării şi extinderii bazei de cunoştinţe în raport cu noile strategii de tratare a informaţiei, SE va căpăta o importanţă tot mai mare în conducerea staţiilor şi reţelelor electrice, mai ales în perspectiva trecerii de la o tratare algoritmică la o tratare orientată spre inferenţă, de la funcţii deterministe spre metode de interpretare şi contingenţă, care să diminueze riscul apariţiei unor erori umane şi să prevină producerea şi extinderea unor incidente şi avarii, crescînd prin aceasta siguranţa în funcţionare a sistemului energetic.

Bibliografie

[1] * * * Expert Systems. July 1985, vol. 2, No. 3, pag. 179.

[2] Alty, J. L., Coombs, M. J, *Expert Systems. Concepts and Examples*, NEC Publ., 1984.

[3] Cardozo, E., Talukdar, S. N. *A distributed Expert System for Fault Diagnosis.* In: IEEE Trans. on Power Systems, vol. 3, No. 2, May 1988.

[4] Fauquembergue, P., Brezzillon,. P, Harmand, Y. *Synthesis of Events in on EHV Substation: An Expert System Approach.* Proc. IFAC Sympossium on Power Systems, Sept. 1988, Brussels.

[5] Hayes — Roth, F., Waterman, D. A., Lenat, D. (eds.) *Building Expert Systems.* Addison — Wesley, 1983.

[6] Mulet — Marquis, D., Gondran, M. *Un langage pour les sistemes experts*: ALLOUETTE. Bull. de la Direction des Etudes et Recherches. Série C., no 3—4, 1985.

[7] Nordgard, H., et al. *Knowledge Based Systems for Power System Operation.* Proc. Int. conf. on Lege High Voltage Electric Systems, Paris, 28 Aug — 3 Sept. 1988.

[8] Sakaguchi, T., Matsumato, K. *Development of a Knowledge Based System for Power System Restoration.* In: IEEE Trans. on Power Systems, vol. PAS—102, Nr. 2, Feb. 1988.

[9] Scarlat, E., Eremia, M. *Aspecte privind elaborarea unei baze de cunoştinţe pentru un sistem expert într-o staţie electrică.* A 4-a Conferinţă de Electronică, Telecomunicaţii, Automatizări şi Calculatoare, CETAC 4, Bucureşti 7—9 dec. 1988.

[10] Waterman, D. A. *A Guide to Expert Systems.* Addison-Wesley, 1986.

[11] P E 118/79 *Regulamentul general de manevre în instalaţiile electrice.*

(Primit la 2 august 1989, acceptat la 11 aprilie 1990)

LA 50 DE ANI DE LA STINGEREA DIN VIAȚĂ A LUI ARTHUR – ERWIN KENNELY

Arthur-Erwin Kennelly a fost unul dintre cei mai importanți electricieni din ultima sută de ani, cu activitate variată și realizări remarcabile. S-a născut în 1861 în India din părinți englezi, a studiat în Europa și a activat în S.U.A. În 1887 a fost solicitat de Thomas Alva Edison, căruia i-a fost asistent pînă în 1894. În 1895 a obținut titlul de doctor în științe la Universitatea din Pittsburgh după care a desfășurat activitate didactică în specialitatea electrotehnică la Harward University și la Institute of Technology Cambridge Massachusetts; concomitent a devenit inginer consilier al marilor întreprinderi Edison General Electric Company și General Electric Company, contribuind la progresele tehnice ale acestora.

Activitatea sa teoretică a lăsat urme deosebite în fizică și tehnica electricității.

La sfîrșitul secolului trecut s-a început utilizarea energiei cu curent electric alternativ (printre primele linii de transport sînt: Tivoli – Roma pusă în funcțiune în 1892, Niagara în 1895 și Sadu–Sibiu în 1896); se întîmpinau dificultăți în proiectare din cauza lipsei de metode de calcul corespunzătoare, cele existente fiind referitoare la curentul continuu. Modalitatea aplicată era exprimarea curenților și tensiunilor prin valori instantanee, ceea ce ducea la calcule laborioase.

Kennely a inițiat cele dintîi noi metode, urmat de C. P. Steinmetz, A. Blondel, E. Hospitalier, O. Heaviside. Astfel s-a introdus calculul prin vectori (fazori), calculul în complex și s-au definit elementele de circuit în curent alternativ. În această activitate importantă s-au manifestat controverse între electricieni, la a căror rezolvare Kennelly a contribuit în mare măsură.

Noțiunea de impedanță a fost introdusă în urma propunerii sale într-un memoriu din 1893, prezentat la American Institute of Electrical Engineers (au fost și propuneri de a se numi ratenență).

Ca urmare a introducerii calculul în complex legea lui Ohm se putea exprima concis prin reprezentarea în numere complexe după modelul Kennely – Steinmetz. Datorită contribuțiilor celor menționați la începutul secolului XX au apărut primele manuale de calcule în curent alternativ sinusoidal.

O altă activitate remarcabilă a desfășurat Kennelly cu privire la sistemul de unități de măsură, susținînd adoptarea sistemului Giorgi **.

Concomitent, a avut vederi juste cu privire la precizarea fizică a unor mărimi electromagnetice. De asemenea, s-a preocupat de definirea mărimilor în regim nesinusoidal.

Kennelly a fost, împreună cu Heaviside, și autorul teoriei, verificată experimental, asupra straturilor atmosferice ionizate, care, reflectînd undele electromagnetice, au o mare importanță în transmisiunile radioelectrice la mare distanță.

Aceste straturi au rămas în știință cu numele celor doi savanți.

În calitatea sa de președinte al Comitetului de studii al Mărimilor și Unităților din Cadrul Comisiunii Electrotehnice internaționale și totodată Președinte al Comitetului Consultativ pentru Electricitate al Biroului Internațional de Măsuri și Greutăți a contribuit la stabilirea unei colaborări fructuoase între cele două instituții.

În perioada interbelică, în cadrul activității privind sistemele de unități de măsură, a avut și contacte cu Comitetul Electrotehnic Român, semnalînd competența punctelor de vedere prezentate de acest organism.

Rezultatele activității sale l-au impus pe plan mondial ca electrician de deosebită competență.

Marele prestigiu științific dobîndit a determinat alegerea sa ca membru al unor importante instituții științifice: Academia Națională de Științe din S.U.A., American Institute of Electrical Engineers, Institution of Electrical Engineers din Anglia, Illuminating Engineering Society, Institute of Radio Engineers, Institutul Român de Energie.

Profesorul C.I. Budeanu menționa: *„Am avut onoarea de-a cunoaște pe A. E. Kennelly, și mai ales de-a lucra sub președinția sa, ceea ce mi-a permis de-a aprecia îndeaproape marile însușiri ale acestui savant"*.

Kennelly s-a stins din viață în 1939, după ce în ultimii ani a avut mari probleme de vedere, ceea ce însă nu l-a împiedicat să continue a fi activ.

Bibliografie

[1] Giorgi, G. *Verso l'elecltrotecnica moderna*, 1949

[2] Budeanu, C. I. *Sur les grandeurset les unités électromagnetique*. Traisième Notte. Buletinul IRE, nr. 1 – 2, /1938, p. 482

[3] Budeanu, C. I., Kennelly, A. E. În: Buletinul IRE nr. 3/1939

---

* Autorul tratatului considerat clasic îndelung timp Alternating Current Phenomena. Unul dintre asistenții săi a fost proiectant șef al Fabricii de mașini electrice, înființată la Reșița după 1920.

** Dintre numeroasele lucrări publicate sînt de menționat: *Historical outline on electromagnetic units*, Harvard Engineering School 1928/29; *Magnetic formulae expressed in the MKS System of units*, American Philosophical Society 1936

Ing. Paul Cartianu

UN ELECTRICIAN ROMÂN A CĂRUI ACTIVITATE A ÎNCEPUT ÎN SECOLUL TRECUT

Printre inginerii români care au participat la realizarea primelor centrale și rețele electrice, puse în funcțiune în secolul trecut în țara noastră a fost și Laurențiu Teodoreanu, fiu al magistratului Alexandru Teodoreanu, născut la Iași, în urmă cu 120 de ani (în 1870).

A urmat Liceul Național din acest oraș și s-a decis să devină inginer electromecanic.

Deoarece la acea vreme în România funcționa numai Școala Națională de Poduri și Șosele, cu specialitățile construcții și căi de comunicații, a plecat la studii în străinătate. A urmat Politehnica din Dresda și pe cea de la Zürich, ambele institute fiind renumite.

Obținînd diploma de inginer în specialitatea electromecanică, a fost angajat în anul 1897 în serviciul tehnic al Primăriei din Iași.

Oamenii de cultură din Iași, mai ales din cadrul Societății Junimea, în curent cu primii pași care se făceau în tehnica luminatului electric, doreau acest proces și pentru orașul lor. Din 1882, la îndemnul lor, primăria orașului Iași s-a adresat autorităților de la Paris cerîndu-le informații. Pe de altă parte, în 1883 primarul orașului, Leon Negruzzi și profesorul universitar Petre Poni au fost delegați să viziteze expoziția de la Viena, unde se prezentau progresele electricității.

Ca urmare s-a hotărît și s-a realizat la Iași instalarea unor grupuri electrogene pentru luminat local la un spital, la Teatrul Național și la Universitate. Totodată se desfășurau tratative pentru instalarea unei centrale electrice comune. În cele din urmă s-a contractat cu o firmă germană concesionarea alimentării cu electricitate a orașului. Executarea instalațiilor a început la 07. 09. 1989, iar punerea în funcțiune a avut loc la 06. 05. 1899. S-a realizat o centrală termoelectrică, alimentată cu păcură, cu cazane de abur și trei motoare termice cu piston a 400 CP, acționînd trei generatoare electrice de curent monofazat 3 kV. Rețeaua electrică de 3 kV avea o lungime de 10,8 km, iar cea de joasă tensiune de 150 V o lungime de 20,4 km. Inginerul Laurențiu Teodoreanu a devenit primul director al acestei centrale.

Ulterior, firma germană de produse electrotehnice Siemens Schucker a înființat o reprezentanță la București a cărei conducere i-a fost oferită lui Laurențiu Teodoreanu, care a devenit cu timpul director general, funcție pe care a păstrat-o pînă la pensionare în anul 1938.

Datorită prestigiului pe care îl dobîndise prin activitatea sa, a făcut parte îndelung timp din conducerea Asociației Generale a Inginerilor din România — AGIR și din consiliile de conducere ale CFR și PTT.

A murit în anul 1943.

Un portret literar al acestui inginer capabil i-a fost făcut de nepotul său, scriitorul Ionel Teodoreanu, în romanul „La Medeleni", prezentîndu-l sub titlul de Herr Direktor; astfel amintirea lui va rezista în timp.

Ing. Paul Cartianu

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

RESURSELE MONDIALE DE GAZE NATURALE

Rezervele mondiale de gaze naturale (GN) confirmate la începutul anului 1988 constituie 107 500 miliarde m³*, cifră care depășește cu 5% pe cea confirmată la începutul anului precedent. Creșterea rezervelor mondiale de GN a avut loc pe seama deschiderii unor noi zăcăminte în America Centrală și de Sud, în Orientul Apropiat și în Africa. Rezervele de GN în diferite țări și regiuni sînt următoarele, în miliarde de m³* (* m³ în condiții normale de temperatură și presiune):

— Olanda	1815
— Marea Britanie	623
— Norvegia	3000
— R.F.G.	181
— Italia	289
— Țările Europei de Vest, în ansamblu	6178
— America de Nord	8062
— America Centrală și de sud	6418
— Orientul Apropiat	0696
— Africa	7041
— Orientul Indepărtat și Australia	6366
— U.R.S.S.	41059

(După: Referativnîi Jurnal 22, Energhetika, nr. 10/1988, poz. 10T78)

NOUTĂȚI

Invenții — Inovații

Titlul inovației: SOLUȚIE DE AMPLASARE A MICROTURBINELOR HIDRAULICE DE TIP EOS

Autor: Ing. Lazăr Dan Petru

Data înregistrării: 12.06.1989

Data publicării: 31.10.1989

Certificat de inovator nr. 4594 eliberat de Ministerul Energiei Electrice

Titular: Trustul Antrepriză Generală de Construcții Hidroenergetice

Inovația se referă la o soluție de amplasare a microturbinelor hidraulice de tip EOS în interiorul sălii mașinilor centralelor hidroelectrice.

Este cunoscută soluția de amplasare pe orizontală a microturbinelor hidraulice de tip EOS, aplicată în prezent la proiectarea și execuția microhidrocentralelor și a centralelor hidroelectrice de mică putere. Dezavantajul soluției constă în faptul că prin amplasarea microturbinelor pe orizontală, la o echidistanță impusă din necesități strict tehnologice, extinderea numărului de grupuri tip EOS este direct proporțională cu extinderea frontului de recepție a debitelor care urmează a fi turbinate.

Soluția de amplasare pe verticală a microturbinelor hidraulice de tip EOS, conform prezentei inovații, limitată la două niveluri din considerente energetice și tehnologice, elimină dezavantajul arătat prin aceea că reduce la jumătate lungimea frontului de recepție a debitelor care urmează a fi turbinate și implicit conduce la micșorarea corespunzătoare a cantităților de lucrări, respectiv a investiției pentru sala mașinilor, atît gabaritul pe verticală, cît și funcționalitatea centralei hidroelectrice rămînînd practic neschimbate.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a inovației (fig. 1, 2, 3).

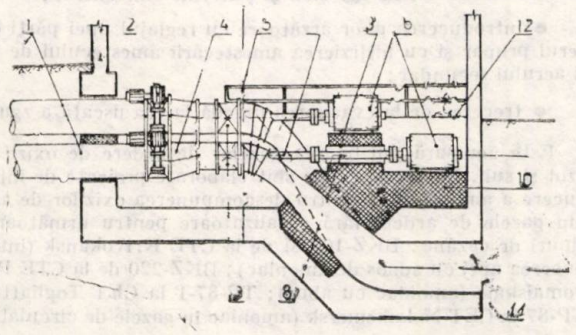


Fig. 1. Secțiune transversală prin axele microturbinelor hidraulice de tip EOS.

Soluția de amplasare a microturbinelor hidraulice de tip EOS conform inovației, constă în dispunerea acestora pe verticală în interiorul sălii mașinilor centralelor hidroelectrice și implică următoarea alcătuire evidențiată în ordinea dictată de circuitul hidraulic: conducte de aducțiune (1) suprapuse, echipate cu mecanisme de acționare (2) a vanelor (3), reducții nesimetrice (4) care dirijează apa în planul palelor microturbinelor hidraulice (5) de tip EOS cuplate la generatorii electrici (6) prin intermediul unor tije (7) și a unei tije prelungitoare (8) protejată și liberă să se rotească în interiorul unei țevi (9) înglobată în betonul de montaj (10). După ce trece printre palele microturbinelor hidraulice (5), apa

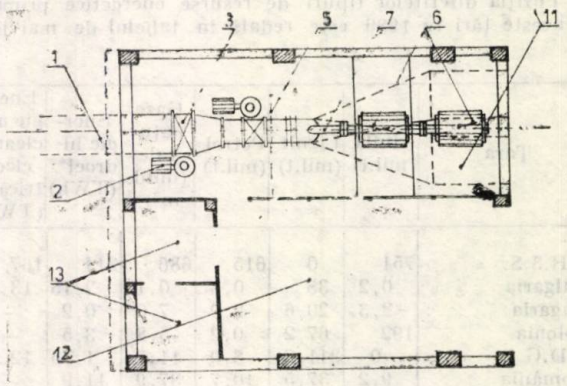


Fig. 2. Secțiune orizontală la nivelul sălii mașinilor, platformei de încărcare-descărcare și montaj și anexelor tehnico-administrative

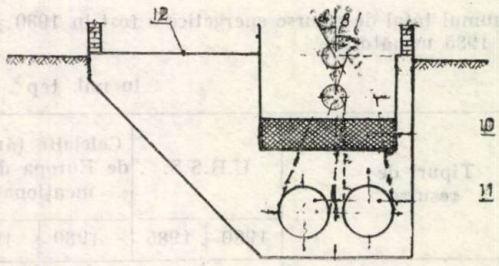


Fig. 3. Secțiune longitudinală prin sala mașinilor și platforma de încărcare-descărcare și montaj.

este dirijată spre evacuare prin intermediul aspiratorilor (11) cu geometrie interioară variabilă, al căror traseu se stabilește prin rotirea acestora în sens contrar în jurul axelor orizontale corespunzătoare ale microturbinelor hidraulice (5), cu unghiuri α și respectiv β convenabile față de verticală, astfel calculate încît să asigure evacuarea apei în condiții de eficiență maximă.

Platforma de încărcare-descărcare și montaj s-a notat cu (12), iar anexele tehnico-administrative s-au notat cu (13).

Soluția se poate aplica la proiectarea și execuția viitoarelor centrale hidroelectrice echipate cu mai multe microturbine de tip EOS.

Aplicarea inovației „soluție de amplasare a microturbinelor hidraulice de tip EOS" prezintă avantajul că oferă posibilitatea comasării echipamentelor hidroenergetice prin dispunerea acestora pe verticală în interiorul sălii mașinilor, conducînd la reducerea considerabilă a investiției pentru partea de construcție, atît gabaritul pe verticală, cît și funcționalitatea centralei hidroelectrice rămînînd practic neschimbate.

Bibliografie

1. Catalog de proiecte tip H — 4815 — 87 (I—III) ISPH pentru CHEMP echipate cu cîte un grup tip EOS.
2. Catalog de proiecte tip H — 7074 — 87 (I — III) ISPH pentru CHEMP echipate cu două grupuri tip EOS.

PRODUCȚIA ȘI CONSUMUL DE ENERGIE ÎN ȚĂRILE EUROPEI DE EST ÎN 1989

Publicația "Cahiers français" 1988, nr. 236, Notice nr. 6, redă o serie de date privind electrificarea Europei de Est, reluate de Referativnii jurnal nr. 11/1988, Energhetika, 22, poziția T 88.

Poziția diferitelor tipuri de resurse energetice primare în aceste țări în 1986 este redată în tabelul de mai jos:

Țara	Huilă (mil.t)	Lignit (mil.t)	Petrol (mil.t)	Gaze naturale (mild. m³)*	Energie hidroel** (TWh)	Energie nucleară-electrică ** (TWh)
U.R.S.S.	751	0	615	686	214	167
Bulgaria	0,2	35	0,3	0,1	2,15	13
Ungaria	2,3	20,6	2,0	7,0	0,2	—
Polonia	192	67,2	0,2	5,8	3,5	—
R.D.G.	0	311,2	8,0	11,7	1,75	12,5
România	9,2	37,5	10,7	37,9	11,9	—
Cehoslovacia	25,4	102,4	0,1	0,7	4,4	11,8
Iugoslavia	0,8	66,2	4,2	2,6	26,0	4,7

* m³ în condiții normale de temperatură și presiune
** +1985

Consumul total de resurse energetice a fost în 1980 și respectiv 1985 următorul:

în mil. tep*

Tipuri de resurse	U.R.S.S.		Celelalte țări din de Europa de Est menționate	
	1980	1985	1980	1985
Combustibili solizi	321	327,5	250,1	267,9
Petrol	448,5	438,5	117,4	102,3
Gaze naturale	317	477,5	66,7	77,5
Energie electrică hidro și nucleară	52,5	78,5	20,1	24,6

* 1 tep = 42 GJ

PROBLEME ECOLOGICE ÎN TERMOENERGETICĂ

Sub acest titlu revista „Energhetik" nr. 9/1989 (U.R.S.S.) publică un articol semnat de Volkov E.P. ș.a. de la Institutul de Energetică „Krjijanovskii" în care se descriu unele realizări din U.R.S.S. pe linia protecției mediului ambiant, dat fiind faptul că problemele ecologice au devenit un factor important care exercită o presiune directă asupra dezvoltării energeticii.

În ultimii 10 ani acțiunile antipoluante întreprinse în cadrul MEE al U.R.S.S. (reconstruirea captatoarelor de cenușă, măsurile de reducere a emanațiilor de NO_x, trecerea unui număr de 50 centrale electrice la funcționarea pe gaze naturale ș.a.) au permis scăderea emanațiilor nocive în atmosferă cu 20%, odată cu creșterea producției de energie electrică și termică.

S-au întreprins de asemenea măsuri de anvergură privind protecția bazinelor hidrografice, a terenurilor și surselor piscicole. Cu toate acestea, lipsa în U.R.S.S. a echipamentelor de curățare a gazelor pentru CTE, eficiența redusă a funcționării electrofiltrelor de cenușă și indicatorii ecologici scăzuți caracterizînd cazanele din fabricație curentă, determină încă un înalt nivel de emanații nocive: 15 milioane tone pe an, din care oxizii de azot — 2, 7; dioxid de sulf — 7, 5; cenușă — 5 mil. t.

Este deci necesară o nouă abordare principială și soluții mai eficiente în realizarea strategiei antipoluante, ca livrarea de către industrie a unor echipamente dotate cu instalații antipolunate și mijloace de control, trecerea la metode economice în rezolvarea problemelor ecologice, schimbarea legislației.

Direcția strategică de bază o constituie crearea unor centrale electrice ecologic curate, problemă a cărei rezolvare reclamă crearea unor tehnologii avansate de extracție, îmbogățire și transport al cărbunelui, de ardere la centralele electrice, de valorificare complexă a cenușilor, de scădere la minimum a influenței termice asupra iazurilor, de eliminare totală a apelor uzate neepurate chimic. Totodată trebuie depășit și un anumit prag științific care există în problema concepției de centrală electrică pe cărbune, ecologic curată, precum și în ceea ce privește soluțiile tehnice necesare.

Exemple de astfel de soluții se referă la crearea de cazane cu noi tipuri de focare, printre care cele în strat fluidizat, crearea de instalații abur-gaze de diverse puteri, inclusiv instalații cu gazeificarea combustibilului în ciclu intern. În perioada următoare și de perspectivă cărbunele capătă un rol tot mai important, fapt pentru care orientarea spre centrale ecologic curate trebuie făcută pe baza cărbunilor livrați în viitor de cele patru mari bazine carbonifere ale țării.

Limitarea emisiilor de oxizi de azot și de sulf

Determinantă pentru perioada 1990—1995 va fi larga utilizare a următoarelor soluții și măsuri:

- reducerea la minimum a aerului în exces;
- recircularea gazelor de ardere în arzătoare;
- alimentarea cu aer în trepte;
- alimentarea cu combustibil, în trepte, cu restabilirea NO_x în focar (ardere în trei trepte);
- împrăștierea umidității în arzătoare cu separarea fluxului amestecului de aer slab și puternic-concentrat;
- introducerea unor arzătoare cu reglajul unei părți din aerul primar și cu întîrzierea amestecării amestecului de aer și aerului secundar;
- trecerea de la evacuarea umedă la cea uscată a zgurii.

Este necesară purificarea gazelor de ardere de oxizii de azot și sulf. Pe această linie sînt elaborate proiecte de introducere a amoniacului pentru descompunerea oxizilor de azot din gazele de ardere fără catalizatoare pentru următoarele tipuri de cazane: BKZ-100 M de la CTE Krivokansk (introducerea apei cu adaos de amoniac); BKZ-220 de la CTE Pervomaiskaia (amoniac cu abur); TP-87-1 la CET Togliatti și TP-87 la CET Nokokemersk (amoniac în gazele de circulație).

În 1986 la CET Severodonețk s-a pus în funcțiune o instalație pilot industrial (IPI) cu o capacitate de 30 mii m³/h gaze pe baza metodei ciclice cu magnezită.

În 1988 s-a dat în funcțiune o IPI la CET Dorogobujskaia de 1 mil. m³/h gaze pe baza metodei în ciclu de amoniac și la CET Gubinskaia o altă IPI de 106 mii m³/h gaze pe baza metodei umede cu var.

În 1985 la CTE Moldovskaia s-a amenajat și încercat o IPI utilizînd metoda amoniac-ozon de purificare a gazelor și se elaborează proiectele unor instalații de aceleași capacități pentru CET Dușanbe și CET-2 din Kamciatka; se creează o instalație experimentală după metoda absorbției prin împrăștiere la CET Novosterlitamakskaia, se elaborează un proiect de IPI de 500 mii m³/h gaz la CET-5 din OMSK privind combinarea oxizilor de sulf în traiectul de gaze al cazanului.

Purificarea gazelor de ardere de cenuşă

Peste 30% din puterile instalate la CTE din cadrul MEE al U.R.S.S. sînt echipate cu electrofiltre, circa 50% cu aparate umede, circa 10% cu sisteme inerţiale, iar 10% cu sisteme combinate. Deşi echipamentele au indicatori de proiect la nivel mondial, în practică, majoritatea lor se comportă sub aceşti indicatori, datorită calităţii slabe şi montajului defectuos.

În domeniul electrofiltrării, problemele principale sînt condiţionate de lipsa de spaţiu la blocurile energetice, de livrări incomplete, de calitatea slabă a materialelor utilizate la electrofiltre şi de nivelul scăzut al exploatării cazanelor.

În domeniul reţinerii cenuşii prin metodă umedă, la un nivel de reţinere a cenuşii de 95—96% rămîne nerezolvată problema protecţiei contra coroziunii şi a uzurii abrazive a aparatelor. Din cauza eficienţei nesatisfăcătoare a metodei, aceasta se utilizează doar la cazanele cu capacităţi pînă la 200 MW.

Problemele aparatelor cu inerţie, la care gradul de reţinere este de maximum 93%, utilizate la cazanele de capacitate redusă (pînă la 100 MW), constau în uzura abrazivă şi formarea de depuneri de cenuşă.

În actualele condiţii reţinerea cenuşii nu mai poate fi considerată tehnologie independentă, diferită de restul tehnologiei. În unele cazuri curăţirea de sulf va contribui la reţinerea suplimentară a cenuşii şi, astfel, cerinţele faţă de captatorul de cenuşă propriu-zis, vor putea fi micşorate.

În alte tehnologii, ca de exemplu în cea electronică cu raze, se formează o cantitate importantă a unui produs, care se deosebeşte calitativ de cenuşa iniţială şi care este necesar să fie reţinut de captatoare montate inseriat. În astfel de cazuri determinant va fi conţinutul final de cenuşă în gazele de ardere.

O direcţie progresistă în dezvoltarea tehnicii de purificare a gazelor de ardere o constituie elaborarea şi aplicarea în energetică a filtrelor din ţesătură, care se află la începuturile ei în U.R.S.S., ale cărei avantaje constau în reţinerea celor mai mici particule de cenuşă şi în faptul că proprietăţile fizice ale cenuşii şi prezenţa în aceasta a oxidului de calciu nu vor mai constitui factori limitativi, ca în cazul electrofiltrelor sau al metodei umede.

Evacuarea şi valorificarea cenuşilor şi zgurilor

O cerinţă principală a creării unor centrale ecologic curate constă în valorificarea cenuşilor de centrală.

Ponderea cenuşilor valorificate în U.R.S.S. este mică: 13—14% din cantitatea totală, din care 70% în construcţii şi 30% în agricultură.

Depozitele de cenuşă umede prezintă mari dezavantaje prin ocuparea de mari suprafeţe, pericolul pentru poluarea mediului, imperfecţiunea deosebit de mare a sistemului hidraulic de evacuare, costurile mari de exploatare, pierderea calităţilor liante ale cenuşii după hidratare.

Direcţia radicală de perfecţionare o constituie trecerea la evacuarea separată a zgurii de cea a cenuşii şi, în acest context, prelevarea uscată a zgurii, fapt care ar permite extinderea căilor şi creşterea volumului de deşeuri valorificate. Printre direcţiile posibile s-ar putea lua în considerare schemele combinate de evacuare a cenuşii, inclusiv transportul mixt, pneumatic şi hidraulic. O utilizare a unor astfel de sisteme ar permite livrarea către consumatori a volumului necesar de cenuşă uscată şi numai restul cenuşii să fie evacuat hidraulic la depozite; în aceste condiţii sistemul de evacuare şi depozitare hidraulică trebuie în mod serios perfecţionat.

Este de mare perspectivă noua metodă de formare a depozitelor de cenuşă, care constă în separarea zgurii de cenuşă din hidroamestec prin metoda hidrociclonării. În ceea ce priveşte sistemele de evacuare hidraulică, condiţia necesară este trecerea la recircularea apei.

Această problemă va putea fi rezolvată cu succes în condiţiile elaborării unui complex de măsuri economice şi tehnico-organizatorice, printre care perfecţionarea planificării livrărilor de cenuşă, elaborarea unui sistem de stimulare a personalului CTE în utilizarea pe scară largă a deşeurilor de cenuşă în economia naţională, depozitarea comună a cenuşii cu alte deşeuri provenite de la diverse alte întreprinderi, elaborarea unei metodologii de evaluare a daunelor aduse economiei naţionale prin poluarea mediului ambiant cu zgură şi cenuşă.

Institutul energetic „Krjijanovskii" realizează cercetări fundamentale şi aplicative, precum şi instalaţii experimentale într-un cerc larg de probleme. Un loc important în acest context îl ocupă problemele ecologice ale termoenergeticii.

Una din acestea este aşa-zisa metodă aerofontană de ardere a combustibililor solizi cu conţinut mare de cenuşă, prin piroliză (preliminară), reprezentînd o variantă a tehnologiei în strat fluidizat şi care poate fi privită ca unul din elementele centralei electrice ecologice curate, care permite reducerea emisiilor nocive în atmosferă în stadiul pregătirii preliminare a combustibilului. Se descrie în continuare principiul de funcţionare a metodei care se aplică experimental la CTE Dobrovortskaia. Sînt enumerate şi descrise apoi metodele prin absorbţie, restabilire şi radiaţie-chimică, de purificare a gazelor de ardere.

În domeniul reţinerii cenuşii sînt de mare perspectivă studiile prvind sursele de alimentare a electrofiltrelor.

În prezent se produc în serie surse de alimentare cu impulsuri, care asigură un grad sporit de reţinere a cenuşilor cu mare rezistenţă electrică, pe seama formei de clopot a tensiunii aplicate la electrofiltru, cu o frecvenţă reglabilă în diapazonul de 10—200 Hz şi cu o amplitudine de pînă la 80 kV.

Au loc cercetări privind crearea de surse şi instalaţii de alimentare cu impulsuri de tensiune de semn variabil, aplicate alternativ, metodă care ar permite renunţarea la sistemele de scuturare a electrozilor, înlăturarea fenomenului „corona inversă", creşterea substanţială a gradului de reţinere a cenuşii zburătoare.

Una din realizările menite să rezolve problemele protecţiei bazinelor hidrografice o constituie tehnologia de cocsificare prin termo-contact a cărbunilor, a cărei esenţă constă în reprelucrarea termică a cărbunelui mărunt într-un reactor cu strat fluidizat, pe seama căldurii semicocsului (agent de căldură solid) care circulă continuu între reactor şi încălzitorul de cocs. În acest context, din cărbune pot fi obţinute produse solide, gazoase şi lichide cu destinaţii combustibile sau de altă natură.

Tehnologia posedă în mod virtual o mare elasticitate în ceea ce priveşte cantitatea şi calitatea produselor obţinute, motiv pentru care poate fi prevăzut un întreg şir de folosinţe ale acesteia în energetică. Una din variante o constituie obţinerea din cărbune a unor sorbenţi carbonataţi granulaţi pentru utilizarea lor în procesele de preparare chimică a apei, la purificarea condensatului returnat şi a apelor uzate din CTE.

Sorbenţii s-au obţinut într-o instalaţie experimentală de tip industrial, realizată la Sverdlovsk, din cărbune de Kansk-Acinsk, dînd bune rezultate la numeroasele încercări la care au fost supuşi în energetică şi în alte ramuri industriale; pe această bază sorbenţii au fost recomandaţi pentru utilizare industrială, inclusiv pentru epurarea apei brute de substanţe organice la centralele electrice şi pentru purificarea condensatului returnat de oxizi de fier şi substanţe organice. Din punctul de vedere al proprietăţilor absorbante, noile sorturi de sorbenţi nu sînt mai prejos faţă de mărcile industriale de cărbune activ.

Semicocsul granulat, obţinut din cărbune brun, extrage produsele petroliere din apele naturale sau uzate cu o eficienţă egală cu cea obţinută la utilizarea cărbunilor activi industriali, pînă la o concentraţie remanentă de 0,3—0,6 mg/l, ceea ce este imposibil de obţinut prin utilizarea materialelor filtrante, cu care se obţin valori de 3—5 mg/l.

Cărbunele activ, pe baza semicocsului obţinut la cocsarea cărbunelui prin termocontact, reduce concentraţia produselor petroliere în apă pînă la 0,1—0,3 mg/l şi rezistă la 50 cicluri de regenerare chimică şi la 10 cicluri de regenerare termică.

În afara realizărilor, enumerate mai sus, institutul participă efectiv la elaborarea concepţiei privind activitatea de protecţie ecologică în energetică, la studiile şi prognozele de impurificare a atmosferei prin emisiile produse de CTE de mare putere şi de complexele energetice de combustibil, la elaborarea fundamentării tehnico-economice a concepţiilor privind centralele termoelectrice ecologic curate, pe fiecare din tipurile principale de combustibili solizi produşi în U.R.S.S.

Traducerea şi prelucrare:
Ing. Mihai Nistor — I.S.P.E.

PRODUCȚIA DE RESURSE ENERGETICE ȘI DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN ROMÂNIA, ÎN ANII 1980 – 1988

În acest material este prezentată o scurtă analiză a datelor statistice referitoare la producția de resurse energetice primare, consumul intern de energie, precum și producția și consumul de energie electrică ale României în perioada 1980–1988.

Tabelul 1 cuprinde date statistice, calculate conform metodologiei ONU de obținere a consumului intern de energie, pornind de la producția de resurse energetice primare. În „Balanța energiei totale și structura utilajului energetic" (elaborată de DCS) la producția de resurse energetice primare se mai adaugă și resursele energetice refolosibile, ceea ce împiedică efectuarea unor comparații internaționale.

Tabelul 1

Producția de resurse energetice primare și consumul intern de energie

Anul	U/M	Producție	Resurse energetice refolosibile	Import	Consum total	Export	Consum intern
1980	mii tc.c.	74 990	908	30 561	105 232	12 937	92 295
1981	mii tc.c.	77 635	1 943	26 260	104 897	10 773	94 124
1982	mii tc.c.	77 770	1 472	23 696	101 742	9 430	92 312
1983	mii tc.c.	79 449	2 515	26 811	104 753	13 018	91 735
1984	mii tc.c.	81 129	2 273	30 786	112 049	14 850	97 199
1985	mii tc.c.	80 799	4 298	31 442	111 627	13 789	97 838
1986	mii tc.c.	79 933	3 238	36 076	116 744	15 097	101 647
1987	mii tc.c.	77 276	5 103	43 580	118 822	17 043	101 779
1988	mii tc.c.	78 460	3 314	44066	123 313	19 033	104 280
1988/1980	%	104,6	–	144,2	117,2	14,17	113,0

Notă: Pierderile de transport și distribuție, precum și consumurile tehnologice sînt incluse în consumul intern.
Consum total = producție + import ± Δ stoc
Consum intern = consum total – export
1 mie tc.c. = 29,3 TJ
1) date recalculate conform metodologiei ONU

Sursă: Balanța energiei totale și structura utilajului energetic pe anul... DCS

Tabelul 2

Producția și consumul de energie electrică

Anul	U/M	Producție	Import	Consum total	Export	Consum intern
1980	GWh	67 486	472	67 958	49	67 909
1981	GWh	70 138	553	70 691	701	69 990
1982	GWh	68 923	1 085	70 008	×)	70 008
1983	GWh	70 260	2 138	72 398	×	72 398
1984	GWh	71 595	3 074	74 669	–	74 669
1985	GWh	71 819	3 259	75 078	–	75 078
1986	GWh	75 478	4 430	79 908	–	79 908
1987	GWh	74 079	5 150	79 229	–	79 229
1988	GWh	75 322	7 199	82 521	–	82 521
1988/1990	%	111,6	1525,2	121,4	–	121,5

Notă: Pierderile de transport și distribuție, precum și consumurile tehnologice sînt incluse în consumul intern.
Consum total = producție = import
Consum intern = consum total – export
* sub 1

Sursă: Balanța energiei totale și structura utilajului energetic pe anul ...; DCS

Analizînd cifrele din acest tabel se constată că, în perioada 1980–1988, producția de resurse energetice primare a crescut cu 4,6%, consumul intern de energie cu 13,0%, iar importul și exportul de energie cu aproape 50%. Deci se poate considera că importul a constituit principala sursă de majorare a exportului (import pentru processing).

În ceea ce privește energia electrică, datele statistice din tabelul 2 arată că în perioada analizată, producția a crescut cu 11,6%, consumul intern cu 21,5, iar importul de circa 15 ori.

Dintr-o țară net exportatoare, în primii doi ani ai perioadei, România a devenit o țară net importatoare de energie electrică.

Întocmit
ec. PATRICIA BĂNCEANU

PERSPECTIVELE INSTALAȚIILOR DE REȚINERE A SULFULUI PENTRU CURĂȚIREA GAZELOR DE ARDERE LA C.T.E.

Sub acest titlu revista „Energheticeskoe stroitelistvo" nr. 9/1989 publică un articol semnat de Avdakuşkin şi Burenkov, în care sînt descrise soluțiile care se adoptă în U.R.S.S. pe linia creării unor centrale termoelectrice curate. Prezentăm mai jos un rezumat al articolului.

După ce arată că centralelor termoelectrice le revine o pondere de circa 30% din totalul emisiilor nocive produse de industrie, se face o scurtă incursiune în ceea ce privește situația în lume, arătîndu-se că numeroase țări au introdus cerințe extrem de severe, materializate în norme, privind volumul emisiilor nocive în atmosferă şi a altor deşeuri rezultate din funcționarea CTE. U.R.S.S. şi-a asumat de asemenea obligații importante prin convenții internaționale privind poluarea transfrontalieră, pe baza cărora, pînă în 1993, emisiile de oxizi de sulf de la CTE, amplasate în partea europeană a U.R.S.S., trebuie să scadă cu 30% față de nivelul anului 1980.

În cadrul MEE al U.R.S.S. s-a adoptat un program complex de cercetare ştiințifică pentru crearea unei instalații de reținere a sulfului din gazele de ardere (IRS) care va fi montată în 1992 la un bloc energetice 215 MW de la CTE Dobrovortskaia.

Tipul tehnologiei a fost ales pe baza unei analize tehnico-economice a metodelor şi schemelor existente în lume, ajungîndu-se la concluzia că cea mai potrivită tehnologie este cea prin metodă umedă utilizînd varul, adaptată de la firma Bischoff din RFG, metodă utilizată în mai mult de 60% din toate instalațiile de desulfurare din lume. Utilizarea acesteia asigură un grad maxim de desulfurare (90—95%) şi garantează practic realizarea nivelului cerut de concentrare a dioxidului de sulf, fiind utilizată la orice tip de combustibil organic. Ca produs-deşeu rezultă gipsul-alfa care se folosește la numeroase elemente ale construcțiilor şi care este superior gipsului-beta, produs obişnuit, prin rezistența sa de două ori mai mare, fapt care-i asigură competitivitatea comercială.

Metoda este aplicată şi de alte firme din străinătate ca SHL „Deutsche Babekok Anlage" şi „Giessen" din RFG, „Mitsubishi" din Japonia, SGP din Austria ş.a.

Particularitatea tehnologiei adoptate de firma „Bischoff" constă în acea că oxidarea sulfului de calciu în sulfat (gips) are loc nemijlocit în ciclul de spălare a gazelor de ardere, fapt care-i conferă avantaje ca:

- o mare compactitate a instalației;
- suprafața relativ redusă ocupată de sistemul de curățire a gazelor pe tract;
- investiții relativ mici;
- sorberul — principalul element al instalației — este format dintr-un singur corp.

La funcționarea instalației există de asemenea numeroase avantaje, ca:

— conținut minim de săruri nereactive în gips;
— utilizarea a 100% a reagentului (var);
— necesar minim de aer de oxidare;
— lipsa depunerilor în exploatare;

— construcția specifică a absorberului şi a sistemului de spălare dă posibilitatea declanşării instalației în orice moment fără coborîrea suspensiilor, fapt care asigură micşorarea cheltuielilor de exploatare şi exclude utilizarea energiei electrice în perioadele de stagnare;

— atingerea capacității nominale în 15 minute de la pornire;

— obținerea unui gips-deşeu cu calități deosebite.

După ce sînt descrise în amănunt numeroase particularități constructive, în articol sînt redați cîțiva indicatori tehnico-economici ai instalației, din care spicuim:

— pentru o instalație care curăță circa 900 mii m^3/h gaze de ardere, care se creează la exploatarea unui bloc de 200 MW, sînt necesare:

- 10 — 12 t/h var (95% $CaCO_3$);
- 40 — 60 t/h apă tehnică;
- 5 — 7 MWh energie electrică;
- 1 — 3 kg chimicale (NaOH, Na_2S, $FeCl_3$ ş.a.).

În procesul de curățare se obține o cantitate de 20—23 t/h gips cu un conținut de umiditate de maximum 10% raportat la masă.

După datele presei internaționale de specialitate, includerea sistemelor de IRS în componența blocului energetic mărește investiția cu 15 — 25%, funcție de puterea unitară a acestuia.

Cresc cheltuielile de exploatare în medie cu 9,0 — 9,5%, funcție de durata de utilizare a IRS etc.

Datele de mai sus sînt calculate pentru un grad de curățare pînă la o concentrație de 600 — 650 mg/m^3*, pentru concentrații mai scăzute (200 — 400 mg/m^3)* cheltuielile de investiții şi de exploatare fiind ceva mai ridicate.

Dotarea blocului cu IRS conduce la micşorarea randamentului acestuia cu 1,5%, consumul specific de căldură pe centrală crește cu circa 4%; nu scade însă gradul de disponibilitate al centralei sau blocului.

Durata de viață a IRS se apreciază la minimum 20 ani, iar pentru amplasarea acesteia este necesară o suprafață de teren de circa 0,1 — 0,25 ha.

În fața constructorilor de mașini din U.R.S.S., pe baza experienței străine, se pun probleme dificile, printre care:

- crearea absorberului, aparat deosebit de complicat, a cărui proiectare necesită numeroase cercetări şi încercări constructive preliminare, elaborarea metodei de calcul etc.;
- elaborarea şi asimilarea diferitelor componente ale absorberului ca, de exemplu, captatorul de picături, instalațiile de introducere a aerului de oxidare, a lichidului de spălare şi a suspensiei de var;
- alegerea materialelor pentru echipamente care lucrează în condiții de agresivitate chimică, abrazivă etc.;
- crearea preîncălzitorului de gaze regenerativ şi a ventilatorului de gaze arse, care trebuie să reziste la fenomene puternice de eroziune; problema care se pune este aceea de a alege cele mai potrivite materiale de protecție anticorosivă etc.;
- probleme deosebite de protecție anticorosivă etc. se pun şi pentru protecția suprafețelor interioare ale absorberului şi canalelor de gaze etc., în condițiile de montaj la şantier (deoarece este imposibilă execuția acestor subansambluri în condiții de uzină).

În străinătate se aplică pe scară largă cauciucarea suprafețelor cu ajutorul unui cauciuc autovulcanizant, care asigură calitatea stratului protector, un volum redus de manoperă şi o mare durabilitate;

- crearea unor pompe puternice (5 000 m^3/h) pentru pomparea lichidului de spălare spre zona de absorbție, pentru asigurarea suspensiilor;
- elaborarea instalațiilor de automatizare şi control, care reduc personalul la 2—3 oameni în tură.

Echipamentul IRS trebuie să fie executat şi livrat în blocuri mari, la un grad de uzinare deosebit de ridicat pentru evitarea sudurii manuale pe şantier, care este extrem de scumpă şi nu asigură calitatea necesară a suprafețelor.

---

* m^3 în condiții normale de presiune şi temperatură

Traducere şi prelucrare
ing. M. Nistor

EXPERIMENTĂRI ALE INSTALAȚIILOR DE ACȚIONARE CU TURAȚIE VARIABILĂ, ÎN CADRUL CENTRALELOR ELECTRICE DIN S.U.A.

Organizația de ingeneering Betchel — Group, S.U.A., a întocmit în perioada 1982 — 1983, un număr de studii privind exploatarea instalațiilor de acționare cu turație variabilă, cu convertizoare (ATVC), în cadrul centralelor electrice.

Materialul de sinteză prezentat tratează rezultatele obținute la un număr de cinci centrale electrice clasice din S.U.A., unde instalațiile tip ATVC s-au utilizat pentru acționarea pompelor de alimentare cu apă și a ventilatoarelor de la cazane, avînd puteri între 2 000 — 7 000 HP (1472 — — 5134 kW).

Instalațiile prezentate conțin convertizoare indirecte de frecvență (cu circuit intermediar de curent continuu), care realizează convertirea în 6,12 sau 18 pulsuri, asigurînd și frînarea prin recuperare.

Analiza efectelor armonice, rezultate din exploatarea instalațiilor ATVC, constituie un capitol separat în studiu, unde se prezintă unii din factorii care influențează acest fenomen și anume;

— numărul și puterea instalațiilor ATVC pe fiecare secție de bare;

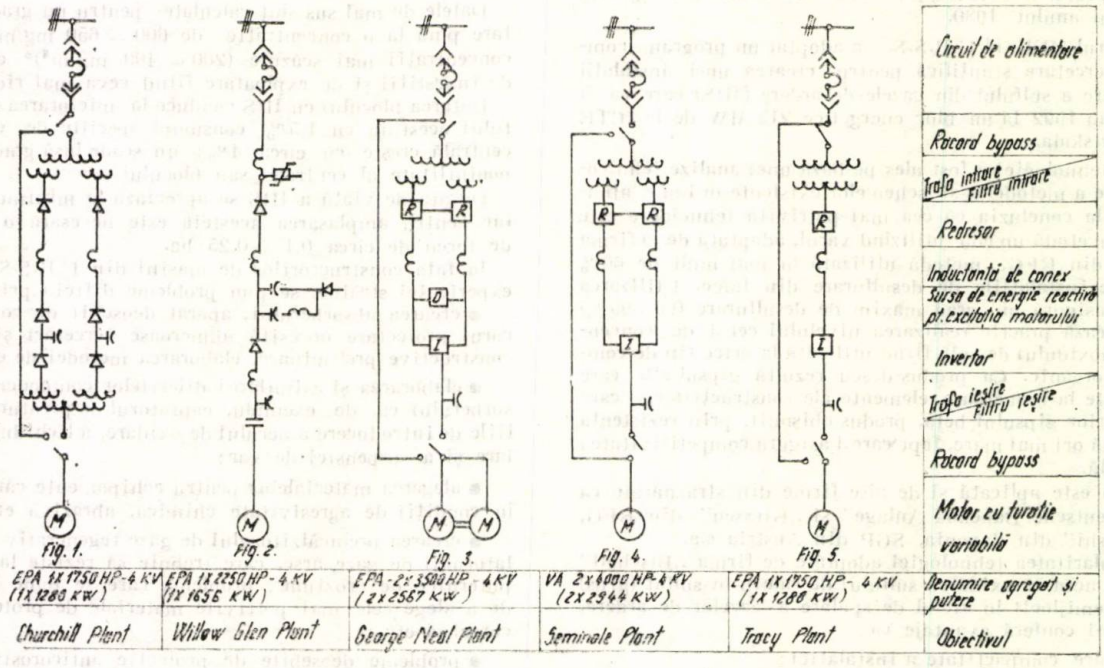
— sistemul de convertire a curentului cu 6,12 sau 18 pulsuri;

— impedanța sistemului;

— existența transformatorului de adaptare la rețea;

— existența filtrelor și gradul de filtrare obținut.

În articol se prezintă, într-un tabel, rezultatele obținute în cazul a două centrale, unde se indică în procente, distorsionările globale de curent și tensiune, pierderile suplimentare rezultate și influențele asupra randamentului;



Denumire agregat și putere	EPA 1x1750 HP-4 KV (1x1288 KW)	EPA 1x2250 HP-4 KV (1x1656 KW)	EPA-2x3500 HP-4 KV (2x2567 KW)	VA 2x4000 HP-4 KV (2x2944 KW)	EPA 1x1750 HP-4 KV (1x1288 KW)
Obiectivul	Churchill Plant	Willow Glen Plant	George Neal Plant	Seminole Plant	Tracy Plant

La patru din cele cinci centrale, racordul la rețea este realizat prin transformatoare de adaptare, iar la una din centrale, instalația ATVC este racordată direct la rețea fiind însă prevăzută pe intrare cu instalații de filtrare.

De asemenea, în cazul a patru centrale prezentate, s-a prevăzut suplimentar un racord by-pass care permite, pentru situația cînd instalația ATVC este indisponibilă, alimentarea agregatului în soluție clasică, fără reglajul turației.

În cazul uneia din centrale s-a prevăzut un transformator de separare și pe partea racordului la motor, la restul centralelor fiind montate pe ieșire instalații de filtrare.

Principala problemă, avută în vdere de autorii studiului, a constituit-o influența noilor instalații asupra indicatorilor de fiabilitate ai centralei. Pentru asigurarea unei fiabilități corespunzătoare a instalației ATVC, în urma experimentelor efectuate, s-a indicat realizarea următoarelor măsuri:

— încercarea și selecționarea componentelor la furnizor;

— asigurarea unor marje corespunzătoare la instalația ATVC pentru a se acoperi variațiile de curent și tensiune din rețea;

— realizarea unor probe ale instalației individuale, cît și integrată în sistemul de comandă și reglaj al cazanului;

— asigurarea unor circuite de răcire cu apă în circuit închis, redondante;

— asigurarea unor condiții de amplasare corespunzătoare.

— transformatorul de adaptare este necesar pentru protecția instalației ATVC și a înfășurărilor motorului electric, deoarece prevederea numai a instalației de filtrare pe intrarea circuitului nu asigură o protejare eficientă la supratensiuni, transmise prin rețea;

— se consideră necesară realizarea convertirii curentului în 12 pulsuri, deoarece se asigură un grad mai ridicat de filtrare, prin reducerea influențelor armonicilor a 5-a și a 7-a;

— este necesară verificarea posibilității apariției și respectiv a prevenirii unui circuit rezonant, între filtrul capacitiv pe ieșirea circuitului de alimentare și înfășurările motorului electric;

— se apreciază ca neeconomică extinderea utilizării instalației ATVC la agregate de putere mai mică.

Suplimentar față de concluziile autorilor facem următoarele observații:

1) deși tehnologia ATVC este larg răspîndită în S.U.A., studiul consideră ca neeconomică extinderea acestor instalații la o gamă mai largă de motoare decît la pompele de alimentare și ventilatoare, cei mai mari consumatori de energie electrică din cadrul serviciilor proprii ale centralelor electrice;

2) în studiu se subliniază importanța asigurării calității componentelor, a condițiilor de exploatare și a stabilirii mărimii efectelor armonice, care afectează în mod direct indicatorii de fiabilitate ai instalației ATVC;

3) deşi se subliniază că s-au obţinut indicatori de fiabilitate buni, în cazul a patru centrale din cele cinci prezentate în studiu, s-a păstrat legătura de by-pass a circuitului, care asigură alimentarea cu energie electrică a agregatului, fără reglajul turaţiei, în situaţia indisponibilităţii instalaţiei ATVC. Deşi în studiu nu se fac precizări, existenţa racordului by-pass implică menţinerea armăturilor de reglaj în instalaţii, inclusiv a circuitelor de comandă şi automatizare aferente.

(Comunicare prezentată la A 3-a conferinţă internaţională „Electronica de putere şi acţionările cu turaţie variabilă", iulie, 1988 — autori: J. A. Oliver şi M. J. Samotyi — Betchel Group Inc. — Electric Power Research Institute — S.U.A.)

Notă: în anexă sînt redate schemele instalaţiilor ATVC, la cele 5 centrale electrice americane.

Ing. Negoiţă Gh. — ISPE

ALEGEREA SISTEMULUI DE ALIMENTARE CU APĂ ŞI PROIECTAREA PĂRŢII DE JOASĂ PRESIUNE

În articolul publicat de D. Blanck în revista *Fossil beheizte Dampfkraftwerke Gräfeling*, Köln, 1986, p. 425—445, sînt descrise schemele principale ale sistemului apei de circulaţie la o centrală electrică de condensaţie, şi anume: alimentarea cu apă în circuit deschis; alimentarea cu apă cu răcirea apei în turnuri înaintea evacuării în emisar; în circuit mixt; în circuit închis cu turnuri umede; în circuit închis cu turnuri uscate. Pentru un bloc de 750 MW turnul de răcire umed trebuie să aibă un diametru de ordinul a 100 m şi o înălţime de 135 m. În turnul uscat cu răcire prin convecţie, apa circulă între condensator şi turn unde se răceşte într-un schimbător de căldură de suprafaţă cu ajutorul unui flux de aer indus prin intermediul unor ventilatoare. Deci răcirea are loc prin convecţie.

Pentru un bloc de 750 MW turnul uscat echipat cu ventilatoare necesită o suprafaţă ocupată de 100 × 120 m. În unele cazuri pentru alimentarea cu apă se utilizează iazuri de răcire cu sau fără stropitori. Se utilizează, de asemenea, turnuri combinate cu o parte umedă şi una uscată (răcire mixtă).

Consumul de căldură în turbină se înrăutăţeşte cu 0,32% pentru fiecare grad de creştere a temperaturii apei de răcire.

Investiţiile şi costul energiei electrice la diferite sisteme de răcire sînt arătate în tabelul de mai jos

Necesarul de apă, pentru un bloc de 750 MW este pentru primele trei sisteme descrise mai sus de 17 — 25 m^3/s, pentru sistemul 4 de la 2 la 25 m^3/s, iar pentru sistemul 5 nu sînt necesare decît adaosurile provenite din neetanşeităţi.

În articol este redat un calcul al costului apei pentru sistemul cu turn de răcire umed al unui bloc de 750 MW, precum şi nomogramele necesare determinării costului limită al apei.

Sistemul de răcire	Investiţii specifice (%)	Costul energiei electrice (%)
În circuit deschis	100	100
În circuit deschis, dar cu răcirea apei în turnuri, înaintea evacuării apei în emisar	102	102
Răcire în circuit mixt	103,5	103
Circuit închis cu turn umed	104,5	104,9
Circut închis cu turn uscat	111,1	108,9

Este prezentat, de asemenea, un algoritm pentru efectuarea calculelor de optimizare pe calculator ale părţii de joasă presiune (treapta rece). Temperaturile limită ale apei calde reintrate în iazuri se situează între 30—33 °C, la o încălzire centrală cu 10 — 15 K. Se analizează posibilităţile de folosire a apei calde cu ajutorul unor instalaţii cu pompe de căldură, precum şi pentru crescătoriile de peşte sau sere.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 2, 1988, poz. 2S84)

HOSEMANN, G. şi BOECK, W. **Bazele părţii electrice a tehnicii energetice,** Ed. Springer, R.F.G., 1983

În biblioteca tehnică a ISPE se poate consulta cartea *„Bazele părţii electrice a tehnicii energetice"* (a doua ediţie revăzută), editată în limba germană de către editura „Springer" din R.F.G., în 1983, autori G. Hosemann şi W. Boeck, profesori la Universităţile Erlangen-Nurnberg, respectiv München.

Lucrarea are un pronunţat caracter teoretic şi tratează aspectele electrice ale industriei energetice, pornind de la bazele fenomenelor şi principiile instalaţiilor, pînă la problemele de funcţionare specifice sistemelor energetice.

Cartea conţine următoarele 5 mari capitole :

Cap. 1. Alimentarea cu energie, care prezintă rolul crescînd al energiei electrice în dezvoltarea socială, subliniindu-se caracteristicile proprii ale producţiei şi transportului acesteia.

Lucrarea face referiri directe la problemele energetice ale economiei vestgermane, inclusiv la realizarea obiectivelor energetice în cadrul economiei de piaţă (problema creditelor şi dobînzilor).

Cap. 2. Instalaţii electroenergetice. În acest capitol se tratează principiile maşinilor electrice (transformatoare şi maşini electrice rotative), transportul economic al energiei electrice prin linii aeriene şi cabluri. Autorii prezintă aspecte privind pierderile de energie în înfăşurările şi circuitele magnetice ale echipamentelor electrice, precum şi condiţiile de solicitare intensivă a materialelor folosite în construcţia acestora, în paralel cu problemele de răcire şi solicitare optimă în cîmpul electric a materialelor electrice. Se analizează, de asemenea, regimurile nesimetrice de funcţionare cu implicaţiile tehnice care rezultă pentru echipamente şi reţelele de transport.

Se poate aprecia că problemele de optimizare a încărcărilor şi solicitărilor instalaţiilor energetice, prezentate în lucrare, sînt în directă corespondenţă cu prevederile concrete conţinute în diferite normative şi prescripţii departamentale utilizate în ţară, pentru stabilirea secţiunilor economice, a secţiunilor echivalente ale căilor de curent, problemele privind transportul energiei electrice (PE — 104/85 ; PE — 106/85 ; PE—107/81 ; PE—109/81 ; PE—135/85 ; PE—145/85 etc.), cît şi în normativele de proiectare utilizate de către constructorii de echipamente.

Cap. 3. Funcţionarea reţelelor electrice de transport şi distribuţie tratează probleme de transport al energiei prin linii lungi şi reţele de distribuţie, probleme de stabilitate şi reglaj al reţelelor şi grupurilor energetice, probleme speciale pe care le ridică instalaţiile electrice ale consumatorilor etc.

Cap. 4. Supratensiuni şi coordonarea izolaţiei prezintă supratensiunile ce apar în reţelele electrice (la frecvenţa reţelei şi suptratensiuni atmosferice), soluţii de limitare a supratensiunilor la solicitări ale izolaţiei etc.

Cap. 5 Tehnica securităţii în reţelele de curent alternativ, în care se tratează cazurile care pot duce la tensiuni de atingere şi de pas periculoase, datorate greşelilor, deranjamentelor sau avariilor ce pot apărea în instalaţii, influenţa curenţilor de defect asupra corpului uman, instalaţii de legare la pămînt, aparate de protecţie pentru situaţiile menţionate.

De asemenea, se fac trimiteri la normativele de protecţia muncii în vigoare în Republica Federală Germania.

În studiul fenomenelor electrice prezentate s-a utilizat în mod curent aparatul matematic necesar, apelîndu-se, de regulă, la metodologia uzuală de calcul al componentelor simetrice şi la calculul matricial, în cazurile modelelor a căror analiză a necesitat acest lucru.

S-au prezentat, unde s-a considerat necesar de către autori, definiţii şi detaliări ale principiilor de bază ale fenomenelor, precum şi structura modelelor analizate.

Lucrarea conţine, de asemenea, 139 scheme şi diagrame, precum şi 28 de tabele sinoptice, care asigură o mai uşoară accesibilitate a lucrării, odată cu menţinerea unui înalt nivel teoretic al acesteia.

Autorii fac trimiteri, în cadrul bibliografiei prezentate, la 104 de titluri (cărţi, reviste, publicaţii periodice, normative) care detaliază problemele prezentate în lucrare.

Cartea conţine două broşuri anexe cu extrase din DIN—31000 şi VDE—1000 /3.79, privind principii generale de electrosecuritate pentru aparate, respectiv din VDE 0—100/5.73, care conţine reguli de construcţie şi exploatare pentru instalaţii electrice cu tensiune pînă la 1000 V.

Ing. Negoiţă Gh. — ISPE

PRECIZARE

Primim din partea unui colectiv de autori de la Facultatea de Electrotehnică—Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timişoara următoarea precizare :

Stimate domnule redactor şef,

Schimbările generate la sfîrşitul anului 1989 de mişcarea revoluţionară din ţara noastră ne permit azi să semnalăm o situaţie despre care în trecut nu aveam posibilitatea să vorbim şi să iniţiem demersurile corespunzătoare pentru a îndrepta lucrurile. Este vorba despre un număr de 13 lucrări publicate şi comunicate în perioada 1983 — 1986 de către subsemnaţii, membri ai colectivului de Reţele şi sisteme electroenergetice de la Facultatea de Electrotehnică din Timişoara, condus pînă în septembrie 1983 de prof. dr. ing. Crişan Ovidiu. Prof. Crişan a plecat din ţară în anul 1983 şi s-a stabilit în SUA, actualmente fiind profesor la University of Houston, Texas.

Lucrările menţionate în Anexă prezintă rezultatele obţinute de colectivul condus de prof. Crişan, care, în anii 1978 — 82, a soluţionat o serie de contracte de cercetare ştiinţifică de mare valoare. Prof. Crişan este coautor de drept şi de fapt al acestor lucrări, dar numele Domniei Sale, din motivele precizate, conform unor uzanţe de tristă amintire, nu putea să apară la locul cuvenit.

În scopul restabilirii drepturilor legitime ale prof. Crişan în spiritul echităţii şi al adevărului, vă rugăm să publicaţi scrisoarea noastră, împreună cu lista anexată. Folosim şi acest prilej pentru a ne reafirma cele mai calde sentimente la adresa profesorului, care a avut merite deosebite în orientarea şi formarea noastră profesională, precum şi speranţa şi dorinţa de reluare a colaborării.

Rugăm bibliotecile şi persoanele particulare care au în fondul documentar lucrările semnalate să opereze modificările corespunzătoare la lista autorilor, inclusiv în descrierile sau fişele bibliografice aferente.

Vă mulţumim pentru sprijinul acordat şi vă asigurăm de sentimentele noastre cele mai distinse, rămînînd aceiaşi colaboratori şi cititori fideli ai revistei pe care o conduceţi

Dr. ing. Kilyeni Ştefan
Dr. ing. Luştrea Bucur
Dr. ing. Moga Mihai
Dr. ing. Buta Adrian
Dr. ing. Şurianu Flavius

Falcutatea de Electrotehnică din Timişoara

Anexă

LISTA LUCRĂRILR

publicate şi comunicate în perioada 1983 — 1986 la care a fost coautor prof. dr. ing. Crişan Ovidiu

A. REVISTA „ENERGETICA"

1. DRAGOMIR, T.L., PREITL, S ., CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T. *Modelarea sistemului automat de reglare a excitaţiei aferent grupurilor din centrala Porţile de Fier 1. Partea a II-a: Modelul matematic intrare-stare-ieşire*, Energetica, vol. 31, nr. 11, 1983, pag. 181—188
2. CRIŞAN, O., CRISTEA, H., KILYENI, Ş.T. *Model matematic unitar pentru implementarea unui grup de sisteme automate de reglare a excitaţiei, diferite, identificate experimental, în programele de analiză a stabilităţii sistemelor electroenergetice complexe*, Energetica, vol. 32, nr. 5, 1984, pag. 217—222
3. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T. *Implementarea sistemului de reglare automată a excitaţiei aferent generatoarelor din centrala Porţile de Fier 1 în programul de calcul pentru analiza regimurilor dinamice ale sistemelor electroenergetice complexe. Partea I: Modelul matematic al SRAE încadrat în modelul generatorului*, Energetica, vol. 32, nr. 7, 1984, pag. 312—319
4. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T. *Implementarea sistemului de reglare automată a excitaţiei aferent generatoarelor din Porţile de Fier 1 în programul de calcul pentru analiza regimurilor dinamice ale sistemelor electroenergetice complexe. Partea II: Etape de calcul. Considerarea neliniarităţilor. Probleme de calcul numeric*, Energetica, vol. 32, nr. 7, 1984, pag. 312—319
5. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T., MOGA, M., LUŞTREA, B., BUTA, A., ŞURIANU, D.F. *Analiza influenţei sistemelor intensive de reglare automată a excitaţiei asupra comportării în regim dinamic a generatoarelor sincrone din cadrul sistemelor electroenergetice complexe*, Energetica, vol. 34, nr. 7, 1986, pag. 296—303

B. BULETINUL ŞTIINŢIFIC ŞI TEHNIC AL INSTITUTULUI POLITEHNIC „TRAIAN VUIA" DIN TIMIŞOARA

1. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T. *Speed regulator and turbine model for the dynamic analysis of power systems*, Buletin IPTVT, tom 28(42), fasc. 1—2, 1983, pag. 65—68
2. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T. *Automatic voltage regulator and excitation system model for the dynamic analysis of power systems*, Buletin IPTVT, tom 28(42), fasc. 1—2, 1983, pag. 69—72
3. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T., MOGA, M., LUŞTREA, B. *Optimizing intensive automatic voltage regulator parameters*, Buletin IPTVT, tom 32(46), fasc. 1—2, 1987, pag. 59—64

C. SESIUNEA ŞTIINŢIFICĂ A INSTITUTULUI POLITEHNIC IAŞI, mai 1986

1. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T., CRISTEA, H., LUŞTREA, B., BUTA, A., FECIORU, I., MOGA, M., ŞURIANU, F.D. *Experimentări în sistemul electroenergetic naţional pentru validarea modelelor şi programelor de calcul utilizate la analiza stabilităţii*, Lucrările sesiunii ştiinţifice a IP Iaşi, 1986, vol. 13, pag. 57—65
2. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T., MOGA, M., LUŞTREA, B. *Optimizarea parametrilor sistemelor intensive de reglare automată a excitaţiei pentru generatoarele de la Porţile de Fier 1 la o perturbaţie de intensitate medie*, Lucrările sesiunii ştiinţifice a IP Iaşi, 1986, vol. 13, pag. 279—287

D. SIMPOZIONUL NAŢIONAL AL REŢELELOR ELECTRICE, PITEŞTI, septembrie 1986

1. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T., MOGA, M., LUŞTREA, B. *Optimizarea acordării sistemelor intensive de reglare automată a excitaţiei pentru generatoarele de la Porţile de Fier 1 la perturbaţii de mare intensitate*, Lucrările SNRE, ed. a IV-a, 1986, Piteşti, vol. 2, pag. 179—188

E. CONFERINŢA DE ENERGETICĂ, BUCUREŞTI, noiembrie 1986

1. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T., CRISTEA, H., LUŞTREA, B., BUTA, A., FECIORU, I., MOGA, M., ŞURIANU, F.D. *Validarea experimentală a modelelor şi programelor de calcul utilizate la analiza stabilităţii sistemelor electroenergetice complexe*, Lucrările Conferinţei de energetică, Bucureşti, 1986, vol. 7, pag. 130—141
2. CRIŞAN, O., KILYENI, Ş.T., MOGA, M., LUŞTREA, B., BUTA, A., ŞURIANU, D.F. *Optimizarea sistemelor intensive de reglare automată a excitaţiei la grupurile din centrala Porţile de Fier 1 în condiţii de regimuri şi perturbaţii tipice*, Lucrările conferinţei de energetică, Bucureşti, 1986, vol. 7, pag. 222—234

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

НИКОЛАЕ ЛИЧИУ: Способы анализа энергоемкости национальной экономики 241—245

ЭНЕРЕТИКА НА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

ТИТУС ДОРУ ХАЦИЕГАН: Оптимизация потребителей энергии на горных предприятиях 246—251

АДРИАН БУТА, КОРНЕЛИА ИВАШКУ, ЛИВИУ МИЛЯ: Анализ поведения потребителей типа „добыча нефти" в условиях питания с переменным напряжением 252—258

САВА ПОРНЯЛЭ: Тепловые абсорбционные многоступенчатые трансформаторы 258—263

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ВИКТОР ЯНКОВИЧ: Энергетический кризис—некоторые главные причины и условия для ево ликвидации 264—270

МАНФРЕД ШТЕЙН, КРИСТИАНА БЭРБУЛЕСКУ, АДЕЛА ЧИУПУГИГА: Для расчета надежности в случае пассивного запаса ремонтируемых оборудований 271—276

ВИРРЖИЛ АЛЕКСАНДРЕСКУ, ГЕОРГЕ КЫРЦИНЭ, ЕУДЖЕН ВОЙНЯ, РОМУЛУС СФИКИ: Расчет постоянных режимов объединенных сетей среднего напряжения микро- и малых ГЭС 276—280

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МИХАЙ РУСУ, КОНСТАНТИН СЫРБУ, ДУМИТРУ КЫРДАН: ТЭЦ Дробета Турну Северин 281—288

ИОАНА ИОНЕЛ, КОРНЕЛ УНГУРЯНУ, АНДРЕЙ ГОГУ: Исследования поведения смешанных каменных углей бассейна Петрила в процессе воспламенения и сжигания, на основе графика побочных продуктов 288—292

РАДУ РЭШКАНУ, ГАБРИЕЛ РОМАШКУ: Опоры-амортизаторы ударов для трубспроводов на электростанциях 292—295

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ФЛОРИН МУНТЯНУ, ДУМИТРУ ИВАС, ЛАУРИАН ПРЕДА, ПЕТРУ ЛЕОНТЕ, ЕМИЛИАН ФУРНИКЭ: Возможности диагноза повреждений на установках высокого напряжения 296—300

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ

ГЕРАРД Ж. В. ван БУССЕЛ: Стадия развития ветровой энергетики в Голандии 301—307

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ЛУЧИАН НЕГУЛЕСКУ: Соображения, касающиеся химизма щелевой коррозии под напряжением на паровых котлах 309—316

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ТРУДА

МИРЧА ЕРЕМИЯ, ЕМИЛ СКАРЛАТ: Аспекты, касающиеся проектирования экспертных систем для управления на электростанции 316—322

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ПАУЛ КАРТИАНУ: 50 лет со дня смерти Артура Ервина Кеннелли 323

: Румынский электрик, деятельность которого началась в прошлом веке (Лауренциу Теодоряну) 324

НОВОСТИ

ОТ РУМЫНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА 263

ИЗОБРЕТЕНИЯ — НОВАТОРСТВА 325

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 324, 326—331

ROWEA 308

РЕЦЕНЗИЯ 332

INHALTSVERZEICHNIS

FORSCHUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

NICOLAE LICIU: Analysearten der Energieintensivität der Volkswirtschaft 241—245

ENERGIEWIRTSCHAFT DER BETRIEBE

TITUS DORU HAŢIEGAN: Optimierung des Energieverbrauchs in den Bergbaubetrieben 246—251

ADRIAN BUTA, CORNELIU IVAŞCU, LIVIU MILEA: Analyse des Verhaltens von Verbrauchern der Art „Erdölförderung" bei variabler Speisespannung 252—258

SAVA PORNEALĂ: Mehrstufige Sorptions-Wärmewandler 258—263

ENTWICKLUNG DER ENERGIESYSTEME

VICTOR IANCOVICI: Die Energiekrise: Hauptursachen und einige Bendingungen zu ihrer Beseitigung 264—270

MANFRED STEIN, CHRISTIANA BĂRBULESCU, ADELA CIUPULIGA: Modell für die zuverlässigkeitsberechnung des passiven Lagerbestandes der überholbaren Ausrüstungen 271—276

VIRGIL ALEXANDRESCU, GHEORGHE CÂRŢINĂ, EUGEN VOINEA, ROMULUS SFICHI: Berechnung der permanenten Regime der Mittelspannungsverbundnetze zwischen Wasserkraftwerke kleiner Leistung und solchen hoher Leistung 276—280

WÄRMEKRAFTWERKE

MIHAI RUSU, CONSTANTIN SĂRBU, DUMITRU GĂRDAN: Das Wärmekraftwerk Drobeta Turnu Severin 281—288

IOANA IONEL, CORNEL UNGUREANU, ANDREI GOGU: Ableitungen zum Studium des Verhaltens der gemischten Steinkohle Typ Petrile während des Zündungs und Verbrennungsprozesses 288—292

RADU RĂŞCANU, GABRIEL ROMAŞCU: Stützdämpfer für Rohrleitungen der Kraftwerke 292—295

ELEKTRISCHE NETZE

FLORIN MUNTEANU, DUMITRU IVAS, LAURIAN PREDA, PETRU LEONTE, EMILIAN FURNICĂ: Möglichkeiten in der Fehlerdiagnose für Hochspannungsanlagen 296—300

NEUE ENERGIEQUELLEN UND—VERFAHREN

GERARD J. W. van BUSSEL: Entwicklungsstand der Windenergie in den Niederlanden 301—307

CHEMISCHE TECHNOLOGIEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

LUCIAN NEGULESCU: Betrachtungen zur Chemie der Spannungsri -Korrosion der Dampferzeuger 309—316

ORGANISIERUNG DER ARBEIT UND PRODUKTION

MIRCEA EREMIA, EMIL SCARLAT: Aspekte der Expertensystemprojektierung zur Tätigkeitsleitung in Umspannanlagen 316—322

GESCHICHTE DER ELEKTRIFIZIERUNG

PAUL CARTIANU: 50 Jahre seit dem Ableben von Arthur-Erwin Kennelly 323

: Ein rumänischer Elektriker, dessen Tätigkeit im vorigen Jahrhundert begann (Laurenţiu Teodoreanu) 324

NEUIGKEITEN

VOM RUMÄNISCHEN NATIONALKOMITEE DER CIGRE 263

AUS DER ENERGIEWIRTSCHAFT DER WELT 324, 326—331

ROWEA 308

REZENSION 332

CONTENTS

TRENDS IN ENERGY POLICY

NICOLAE LICIU : Methods of Analysis of the Energy Intensive Character of the National Economy 241—245

ENERGY IN ENTERPRISES

TITUS DORU HAȚIEGAN : Power Consumptions Optimisation in Mining Enterprises 246—251

ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAȘCU, LIVIU MILEA : Behaviour Analysis of the „Oil Lifting" Type Users Under the Conditions of Variable Voltage Supply 252—258

SAVA PORNEALĂ : Multistage Absorbtion Heat Transformers 258—263

ENERGY SYSTEMS DEVELOPMENT

VICTOR IANCOVICI : Energy Crisis — Main Causes and Some Items to 264—270

MANFRED STEIN, CHRISTIANA BĂRBULESCU, ADELA CIUPULIGA : Reliability Calculation Model for Passive Stock Storage of Repairable Equipment 271—276

VIRGIL ALEXANDRESCU, ROMULUS SFICHI, GHEORGHE CÂRȚINĂ, EUGEN VOINEA : Permanent Regime Calculation of Medium Voltage Interconnection Grids of Microhydropower Plants and High Power Hydropower Plants 276—280

THERMAL POWER PLANTS

MIHAI RUSU, CONSTANTIN SÂRBU, DUMITRU GÂRDAN : The Thermal Power Plant Drobeta-Turnu-Severin 281—288

IOANA IONEL, CORNEL UNGUREANU, ANDREI GOGU : Studies Based on Derivatograms of Petrila Coalfield Bituminous Mixed Coals Behaviour During Ignition and Burning 288—292

RADU RĂȘCANU, GABRIEL ROMAȘCU : Shock Damping Holders for the Power Plant Pipes 292—295

ELECTRICAL GRIDS

FLORIN MUNTEANU, DUMITRU IVAS, LAURIAN PREDA, PETRU LEONTE, EMILIAN FURNICĂ : Possibilities to Diagnose Faults in High Voltage Equipment 296—300

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

GERARD J. W. van BUSSEL : Wind Power Development Stage in the Netherlands 301—307

CHEMICAL TECHNOLOGIES IN ENERGY. ENVIRONMENTAL PROTECTION

LUCIAN NEGULESCU : Consideration on the Chemistry of the Steam Boilers Stress Corrosion Cracking 309—316

LABOUR AND PRODUCTION ORGANIZING

MIRCEA, EREMIA, EMIL SCARLAT : Aspects of Expert Systems Design for Activity Managenent in Substations 316—322

THE HISTOR OF ENERG

PAUL CARTIANU : 50 Years from Arthur Erwin Kennelly's Death 323

: A Romaninan Electrician Whose Activity Began A Century Ago (Laurențiu Teodoreanu) 324

NEWS

FROM THE ROMANIAN NATIONAL COMMITTEE OF CIGRG 263

ENERGY WORLDWIDE 324, 326—331

ROWEA 408

REVIEW 332

SOMMAIRE

ORIENTATIONS DES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

NICOLAE LICIU : Modalités d'analyse de l'énergointensivité de l'économie nationale 241—245

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

TITUS DORU HAȚIEGANU : Optimisation des consommations d'énergie dans les entreprises minières 246—251

ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAȘCU, LIVIU MILEA : Analyse du comportament des consommateurs du type „extraction de pétrole" dans les conditions d'alimentation en tension variable 252—258

SAVA PORNEALĂ : Transformateurs de chaleur à absorbtion à plusièures étages 258—263

DEVELOPPEMENT DES RESEAUX D'ÉNERGIE

VICTOR IANCOVICI : La crise énergétique — certaines causes conditions pour son élimination 264—270

MANFRED STEIN, CHRISTIANA BĂRBULESCU, ADELA CIUPULIGA : Un modèle pour le calcul de la fiabilité dans le cas de la réserve passive "en stock" des équipements reparables 271—276

VIRGIL ALEXANDRESCU, GHEORGHE CÂRȚINĂ, EUGEN VOINEA, ROMULUS SFICHI : Le calcul des régimes permanents des réseaux à moyenne tension d'interconnexion des MHC—CHEMP 276—280

CENTRALES THERMIQUES

MIHAI RUSU, CONSTANTIN SÂRBU, DUMITRU GÂRDAN : La centrale électrothermique Drobeta-Turnu-Severin 281—288

IOANA IONEL, CORNEL UNGUREANU, ANDREI GOGU : Etudes basées sur des dérivatogrames du comportement des mixtures de l'houille de Petrila dans le procès d'inflammation et de combustion 288—292

RADU RĂȘCANU, GABRIEL ROMAȘCU : Les supports amortisseurs de choc pour les conduits des centrales électriques 292—295

RESEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

FLORIN MUNTEANU, DUMITRU IVAS, LAURIAN PREDA, PETRU LEONTE, EMILIAN FURNICĂ : Possibilités de diagnostic des défauts dans les installations à haute tension 296—300

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

GERARD J. V. van BUSSEL : Le stade de développement de l'énergétique du vent en Hollande 301—307

TECHNOLOGIES CHIMIQUES, COMBAT CONTRE LA POLLUTION

LUCIAN NEGULESCU : Considérations sur la chimie de la corrosion fissurante sous tension des chaudières à vapeur 309—316

ORGANISATION DE LA PRODUCTION ET DU TRAVAIL

MIRCEA EREMIA, EMIL SCARLAT : Aspects concernant les travaux de conception des systèmes experts pour le guidage de l'activité dans une centrale électrique 316—322

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

PAUL CARTIANU : 50 ans depuis la mort d'Arthur Erwin Kennelly 323

:Un ingénieur électricien roumain dont l'activité a commencé dès le siècle passé 324

NOUVEAUTES

DE LA PART DU COMITE ROUMAIN DE CIGRE 263

L'ENERGIE DANS LE MONDE 324, 326—331

ROWEA 308

COMPTE-RENDU 332

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor șef : dr. ing. Eugeniu Pavel
Adjuncți ai redactorului șef : dr. ing. Radu Enache, dr. ing. Cezar Ionescu
Secretar de redacție : dr. ing. Teodor Popa
Reprezentantul Departamentului Energiei Electrice : ing. Radu Opincaru
Orientări în energetică. Economia energetică : dr. ing. Mario Duma, ing. Anton Vlădescu
Energetica în unități economice : ing. Alexandru Florescu, dr. ing. Adrian Badea
Dezvoltarea sistemului electroenergetic : dr. ing. George Manoleseu, dr. ing. Andrei Cristovici
Conducerea și automatica SE : dr. ing. Iuliu Blechtal, dr. ing. Marius Pomârleanu
Centrale termoelectrice : dr. ing. Valeriu Nistreanu, dr. ing. Gheorghe Luca
Centrale nuclearoelectrice : ing. Gabriel Romașcu, ing. Alexandru Mihăilă
Rețele electrice : ing. Dinu Voinea, dr. ing. Laurențiu Goia
Alimentare cu căldură : dr. ing. Victor Athanasoviei, ing. Nicolae Niculescu
Surse noi de energie : ing. Constantin Popescu, ing. Gheorghe Voicu
Protecția mediului : ing. Margarios Salgian, ing. Cornel Moțiu
Organizarea producției și a muncii : ing. Miron Popescu
Terminologia în energetică : dr. ing. Iosif Cserveny
Istoria electrificării : ing. Paul Cartianu
Noutăți : ing. Paul Rașcu, dr. ing. Virgil Mușatescu, ing. Roșu Anton
Centre universitare :
Iași — prof. dr. ing. Alexandru Poeată, prof. dr. ing. Dumitru Ivas
Timișoara — prof. dr. ing. Viorel Negru, prof. dr. ing. Iuliu Heinrich

Redactor : Ana Maria Chivu

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.

Vasile Pleșca—șef OIDE

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — Banca Română, fil. sector 3 sau direct la redacție. Costul unui abonament : 144 lei anual; costul unui exemplar : 12 lei.

Redacția și administrația : București 79619, ICEMENERG, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3, telefon : 20. 67. 30, 21. 46. 30

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

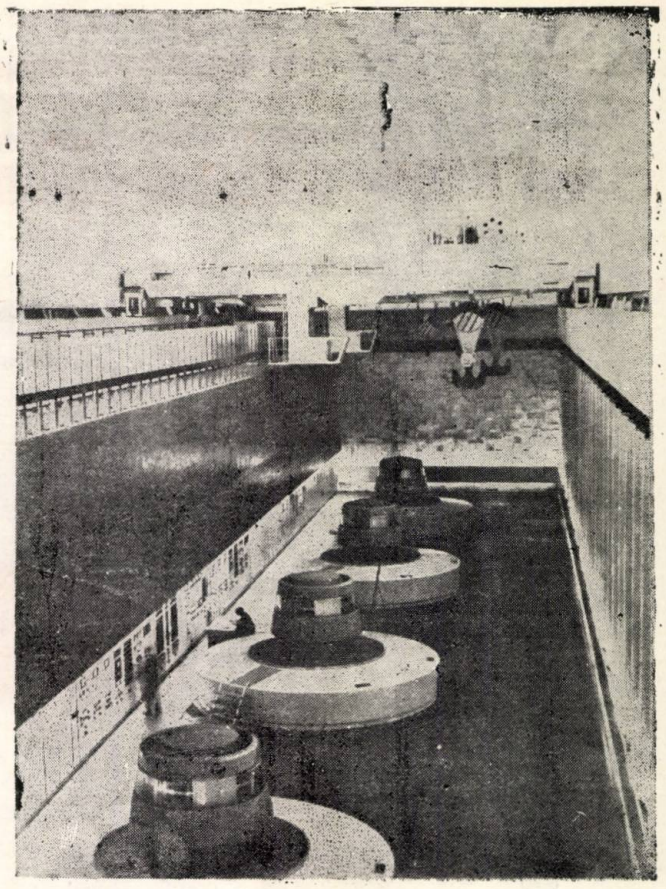
- The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages
- The review „Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields
- The review „Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well
- The review „Energetica" publiches on request from authors abroad reports of other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages
- Readers from abroad can suberibe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P-O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64-66, București — România.

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Universul", București, str. Brezoianu 23—25 c. 2242

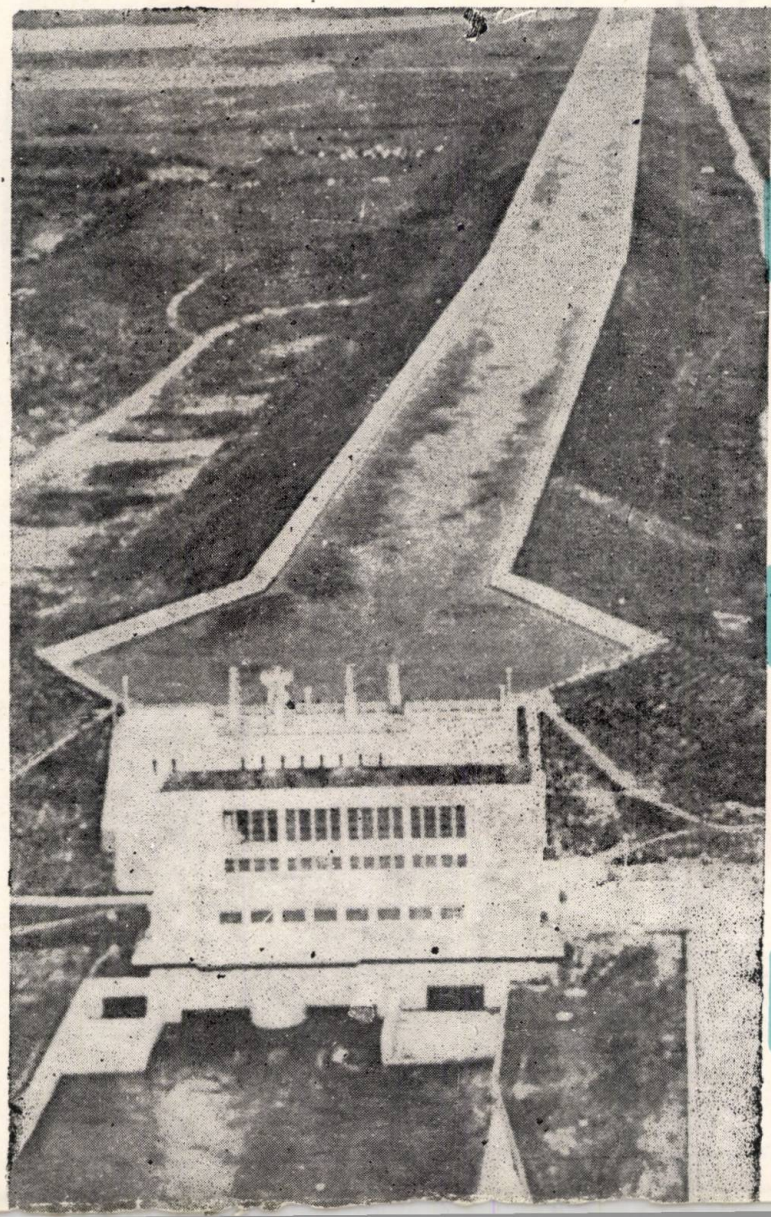
I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI

PROIECTĂRI HIDROENERGETICE



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :



RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ER energoreparații
Bd. Mărăști nr. 2, sector 4, 75117 București, Telefon: 23 26 40, Telex: 10 635

1991 MAI 1 8

EXECUTĂ:

- PIESE DE SCHIMB, SUBANSAMBLURI DE SCHIMB SI RECONDITIONARI PENTRU TURBINE CU ABUR, TURBINE HIDRAULICE, MASINI SI INSTALATII AUXILIARE ;
- MACARALE, MECANISME DE RIDICAT, DISPOZITIVE PENTRU MECANIZARE SI SCULE SPECIALE PENTRU REPARAREA INSTALATIILOR ENERGETICE ;
- PLATFORME RIDICATOARE TELESCOPICE SAU CU BRATE, PENTRU LUCRU LA INALTIMI PINA LA 27 m ;
- ECHIPAMENTE PENTRU MONTAREA CONDUCTOARELOR LEA PRIN TRAGERE CU FIR PILOT ;
- ECHIPAMENTE PENTRU INVESTITII SAU PENTRU MODERNIZAREA INSTALATIILOR ENERGETICE ;
- SERVICII : EXPERTIZE PENTRU VIBRATII, ECHILIBRARI DINAMICE IN FUNCTIONARE, VERIFICARI SPECTROGRAFICE RAPIDE, ANALIZE CHIMICE SI METALOGRAFICE, PROIECTARE CONSTRUCTIVA SI TEHNOLOGICA PENTRU PIESE DE SCHIMB SI RECONDITIONARI ETC.

E 2039

MW

8-9

R 1991 -07- 19

Cuprins

ENERGETICA IN UNITĂȚI ECONOMICE

VASILE DUȘA: **Problema ameliorării factorului de putere în întreprinderile industriale** 337—340

MIHAELA IORDACHE: **O metodă pentru estimarea comportării băilor de tratare a suprafețelor metalice sub influența tensiunii rețelei electrice de alimentare** 340—345

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

STELIAN POPESCU: **Estimarea corectă a sensibilității protecțiilor în zonele de rezervă** 346—349

MIHAI MOGA: **Reprezentarea motoarelor de inducție prin caracteristici dinamice de putere funcție de tensiune și frecvență** 349—355

HARALAMBIE CRISTEA: **Frecvența, parametru de calitate al regimurilor sigure și economice de funcționare a Sistemului Energetic Național** 356—360

SEBASTIAN IONESCU: **Model al mașinii sincrone pentru simularea regimurilor dinamice în sisteme electroenergetice de mari dimensiuni** 361—364

CENTRALE TERMOELECTRICE

MAGDALENA MATEI, CRISTINA DICU, LUCIAN MATEI, PĂTRA DORDEA, AURORA CREȚU, ALINA MANOLESCU, MIHAI PRECUP: **Influența factorilor care depind de caracteristicile combustibilului asupra intensității procesului de eroziune a suprafețelor de transfer termic ale cazanelor cu abur** 365—370

REȚELE ELECTRICE

TRAIAN—G. IONESCU, CARMEN GOLOVANOV, PAUL MANOLESCU, ROXANA OPREA: **Metode de determinare a coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune** 371—376

CHIMIA IN ENERGETICĂ

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL: **Asupra tehnologiei de ardere a păcurii grele** 377—381

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

CAIUS IACOB: **200 de ani de la nașterea lui Augustin-Louis Cauchy** 382—383

PAUL CARTIANU: **Hans Thiess — o carieră îndelungată și plină de realizări** 384

DE PERSONIS

CEZAR BUDA: **Ștefan Procopiu — fizician și energetician** 385—386

NOUTĂȚI

DE LA COMITETUL NATIONAL ROMAN DE ILUMINAT (CNRI)

CORNEL RIANCHI: **Reconstituirea Comitetului Național Român de Iluminat. Seminar științific de iluminat** 387—389

DE LA COMITETUL NAȚIONAL ROMÂN AL CIGRE

CĂLIN MIHĂILEANU: **Sesiunea CIGRE 1992** 390—392

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 364

energetica

VOLUMUL XXXVIII

BUCUREȘTI

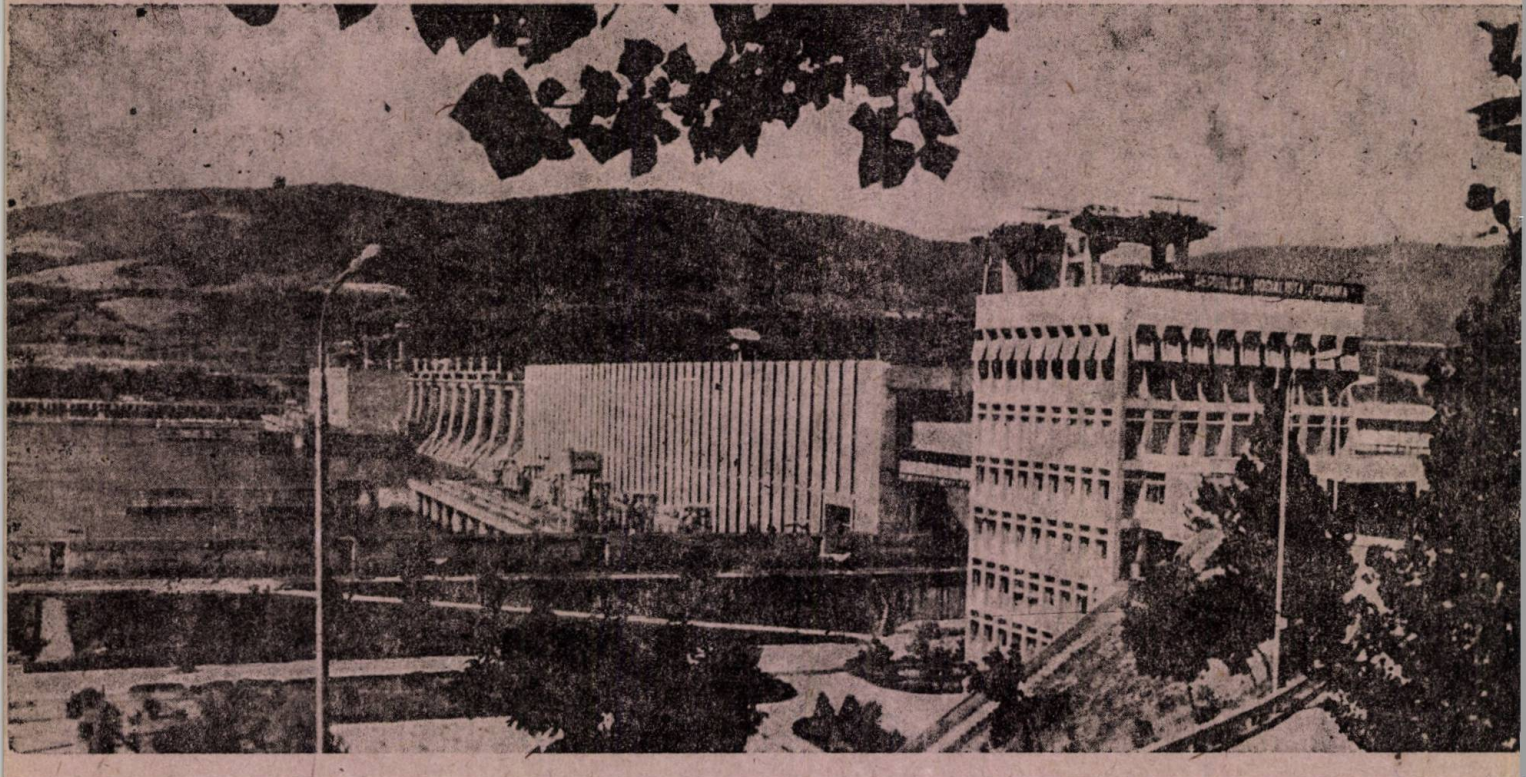
AUGUST-SEPTEMBRIE 1990

TAGCH

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1. COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în țară și în străinătate amenajări hidroenergetice (baraje, tuneluri, centrale hidroelectrice) și lucrări hidrotehnice complexe.



ENERGETICA
REVISTĂ DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILOR DIN ROMÂNIA

Anul 38 Nr. 8 — 9 august — septembrie 1990

1991 SEP 04

Energetica în unităţi economice

Problema ameliorării factorului de putere în întreprinderile industriale

Ş. l. dr. ing. VASILE DUŞA *

Descriptori: factor de putere, electroenergetică industrială

În lucrare se evidenţiază faptul că modul în care se stabileşte la ora actuală factorul de putere mediu la întreprinderile industriale nu îşi atinge întru totul scopul propus — reducerea pierderilor de energie activă în reţelele de distribuţie —, ci, din contră, poate favoriza înrăutăţirea condiţiilor de funcţionare. În acest sens, se propune un nou mod de înregistrare a energiei reactive şi de calcul al factorului de putere. De asemenea, se recomandă şi modul de alegere a puterii bateriei de condensatoare pe perioadele cît nu se reglează această putere.

The paper emphasizes that the way the mean power factor is assessed at the industrial plants nowadays, does not entirely achieve its purpose — the active power reduction in the distribution networks — on the contrary, it may promote the operating conditions worsening. To prevent this drawback, the author proposes a new method for the reactive power recording as well as for the power factor computation. At the same time, the method of selecting the condenser battery power is indicated for the periods within which this power does not get controlled.

Introducere

Ameliorarea factorului de putere are drept scop reducerea pierderilor de energie activă în reţelele de distribuţie şi creşterea capacităţii de transport a acestora [1, 2]. Drept urmare, prin normativele în vigoare [3, 4] consumatorii sînt obligaţi să-şi amelioreze factorul de putere mediu pînă la aşa-numita valoare neutrală. În acest scop se procedează la compensarea factorului de putere realizată prin montarea unor baterii de condensatoare la bornele receptoarelor (compensarea individuală) şi/sau în tabloul general de distribuţie (compensarea centralizată), această ultimă metodă fiind, în general, utilizată în cadrul întreprinderilor industriale.

1. Asupra modului actual de stabilire a factorului de putere mediu

Pentru decontarea energiei electrice şi în vederea stabilirii factorului de putere mediu, la nivelul întreprinderii, pe circuitul de alimentare al staţiei de primire din cadrul acesteia, se montează contoare de energie activă şi reactivă (punctul 1 din figura 1), acesta din urmă avînd mersul înapoi împiedicat.

Valoarea medie a factorului de putere pe o anumită perioadă de timp T (oră, schimb, zi, lună etc.) se determină din expresia:

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_r}{W_a}\right)^2}}, \qquad (1)$$

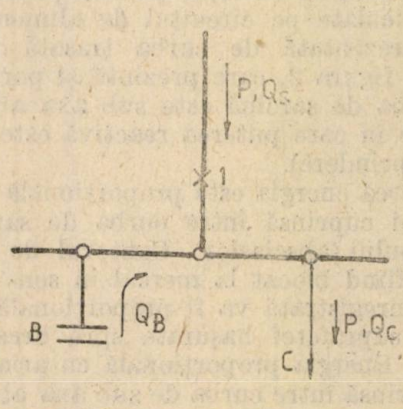


Fig. 1. Bilanţul puterilor la un nod de bare.

* Ş. l. dr. ing. Vasile Duşa — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timişoara

unde : W_r este consumul total de energie reactivă pe intervalul de timp considerat, înregistrat de contorul de energie reactivă ;
W_a — consumul total de energie activă pe intervalul de timp considerat, înregistrat de contorul de energie activă.

Cînd există instalații de compensare (B) a energiei reactive (vezi fig. 1) puterea reactivă Q_s vehiculată pe circuitul de alimentare este :

$$Q_s = Q_C - Q_B, \qquad (2)$$

unde : Q_C este puterea reactivă absorbită de consumator (C) ;

Q_B — puterea reactivă debitată de bateria de condensatoare (B).

Contorul de energie reactivă înregistrează numai în perioada cînd $Q_s > 0$ ($Q_C > Q_B$) și este blocat pe perioada cînd $Q_s < 0$ ($Q_B > Q_C$). Deci energia reactivă W_r înregistrată de contorul de energie reactivă reprezintă numai o parte din energia reactivă vehiculată pe circuitul de alimentare al întreprinderii.

Pentru exemplificare se consideră că C (consumatorul) din figura 1 are curba de sarcină reactivă trasată cu linie continuă în figura 2.

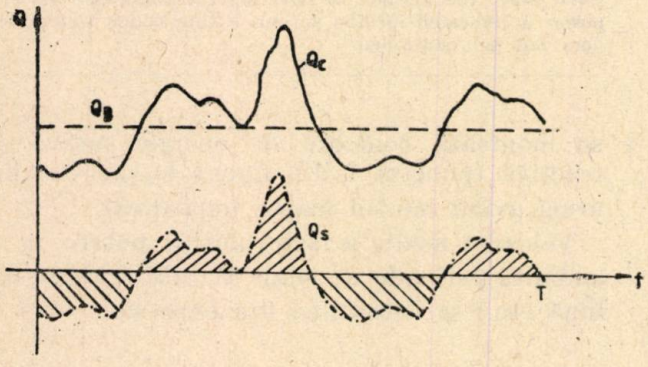


Fig. 2. Curba de sarcină reactivă.

În cazul folosirii bateriei de condensatoare (B), curba de sarcină corespunzătoare puterii reactive vehiculate pe circuitul de alimentare Q_s este reprezentată de curba trasată cu linie punct în figura 2, care prezintă și porțiuni în care curba de sarcină este sub axa absciselor (perioade în care puterea reactivă este livrată de întreprindere).

Se știe că energia este proporțională cu aria suprafeței cuprinsă între curba de sarcină și axa timpului (absciselor). Contorul de energie reactivă fiind blocat la mersul în sens invers, energia înregistrată va fi proporțională numai cu aria suprafeței hașurate spre dreapta în figura 2. Energia proporțională cu aria suprafeței cuprinsă între curba de sub axa absciselor și această axă (suprafața hașurată spre stînga în figura 2) nu este înregistrată cu toate că și această energie se vehiculează prîn circuitul de alimentare. Rezultă că, în aceste condiții, contorul de energie reactivă nu înregistrează energia vehiculată prin circuit de alimentare al întreprinderii pe toată perioada de studiu (0, T), ci numai pe anumite intervale din această perioadă.

Avînd în vedere că energia activă W corespunde întregii perioade de studiu (0, T), înseamnă că utilizarea relației (1) la calculul factorului de putere mediu este deficitară. De exemplu, dacă $Q_B = Q_{max}$, energia reactivă înregistrată de contorul de energie reactivă pe perioada de studiu (0, T) este nulă ($W_r = 0$). Utilizînd relația (1) rezultă cos $\varphi = 1$, rezultat total eronat.

2. Modul de stabilire a factorului de putere mediu

Se preconizează ca valoarea medie a factorului de putere pe o anumită perioadă de timp T (oră, schimb, zi, lună etc.) să se determine cu relația :

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_{rs}}{W_a}\right)^2}}, \qquad (3)$$

unde :

W_a are aceeași semnificație ca în relația (1) ;

W_{rs} — energia reactivă vehiculată prin circuitul de alimentare al întreprinderii pe perioada de timp T considerată care se stabilește cu relația :

$$W_{rs} = W_{ri} + W_{rc}, \qquad (4)$$

în care :

W_{ri} este energia reactivă absorbită (caracter inductiv) de întreprindere pe perioada de timp T, considerată ;

W_{rc} — energia reactivă debitată (caracter capacitiv) de întreprindere în perioada de timp T considerată.

Energia reactivă W_{ri} este înregistrată de contorul de energie reactivă care are mersul în sens invers împiedicat. Pentru înregistrarea energiei reactive W_r trebuie montat în punctul 1 din figura 1 încă un contor de energie reactivă, tot cu mersul în sens invers împiedicat, dar care să înregistreze, la mersul în sens direct, energia debitată de întreprindere. Schema de alimentare a celor trei contoare de energie (un contor de energie activă și două de energie reactivă) din punctul 1 din figura 1 este redată în figura 3.

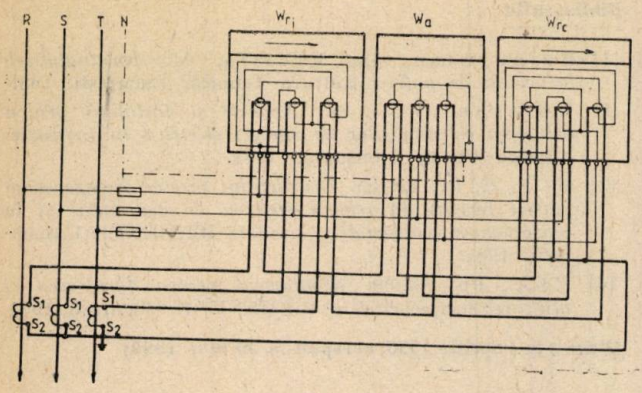


Fig. 3. Schema electrică de măsurare a energiei electrice activă și reactivă.

3. Stabilirea puterii reactive optime pentru bateria de condensatoare

Deoarece puterea reactivă absorbită de consumator nu este constantă, ci variază în timp conform graficului de sarcină, pentru a realiza o compensare ideală se impune reglarea puterii reactive de compensare Q_B. O reglare continuă a puterii reactive Q_B astfel încît în fiecare moment $Q_B = Q_C$ nu este posibilă în condițiile în care compensarea se realizează cu condensatoare statice. Întrucît bateria se realizează dintr-un număr corespunzător de trepte este posibilă reglarea puterii reactive Q_B în trepte, astfel încît Q_B să urmărească, pe cît posibil, cît mai fidel curba de variație a lui Q_C.

Teoretic se stabilește o anumită dinamică a procesului de reglare impusă de valoarea puterii reactive a treptelor de reglare, dar, în practica curentă, în majoritatea întreprinderilor și dacă nu dispun de sisteme și instalații automate de reglarea puterii reactive de compensare, se are în vedere uzura aparatajului de comutație la deconectări și conectări repetate ale treptelor bateriei de condensatoare. În acest context, avînd în vedere și faptul că pentru consumul de energie electrică la un factor de putere mai mic decît cel neutral, consumatorul este obligat la plata energiei reactive, conform prevederilor din [4], în majoritatea întreprinderilor nu se face o reglare a compensării, ci se menține conectată, aproape în permanență, întreaga baterie de condensatoare, ceea ce conduce pe ansamblu la o supracompensare. Deci există perioade mai lungi sau mai scurte în care cu toate că Q_C variază, Q_B rămîne constantă. Problema care se pune este : ce valoare trebuie să ia Q_B pentru ca factorul de putere cos φ să rezulte maxim ?

Din relația 3 rezultă că factorul de putere cos φ devine maxim posibil cînd W_{rs} este minim posibil. Deoarece Q_C este variabil, iar Q_B constant, energia reactivă W_{rs} vehiculată prin circuitul de alimentare, în condițiile specificate mai sus, nu poate fi egală cu zero. Deci, se impune să se stabilească condițiile în care va fi minimă. Acest lucru se întîmplă atunci cînd puterea reactivă medie pătratică :

$$Q_{smed_p} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T Q_S^2 \, dt}, \qquad (5)$$

corespunzător puterii reactive vehiculate prin circuitul de alimentare este minimă.

Ținînd cont de relația (2), din (5) rezultă :

$$Q_{smed_p} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (Q_C - Q_B)^2 \, dt} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{T}\left[\int_0^T Q_C^2 \, dt - 2Q_B\int_0^T Q_C dt + Q_B^2 \cdot T\right]} =$$

$$= \sqrt{Q^2_{C_{med_p}} - 2Q_B \cdot Q_{C_{med}} + Q_B^2} =$$

$$= \sqrt{k_f^2 Q^2_{C_{med}} - 2Q_{C_{med}} - 2Q_{C_{med}} \cdot Q_B + Q_B^2}, \qquad (6)$$

unde :

$Q_{C_{med_p}}$ este puterea reactivă medie pătratică, corespunzătoare puterii reactive la consumator, pe perioada de timp T considerată ;

$Q_{C_{med}}$ — puterea reactivă medie la consumator, corespunzătoare perioadei de timp T considerată ;

k_f — coeficientul de formă al graficului de sarcină reactivă Q_C.

Pentru o perioadă de timp T stabilită, valoarea puterii medii pătratice corespunzătoare puterii reactive vehiculate prin circuitul de alimentare depinde de valoarea lui Q_B. Deci $Q_{s_{med_p}}$ este o funcție de $Q_B (Q_{s_{med_p}} = f(Q_B))$. $Q_{s_{med_p}}$ ia valoarea minimă pentru acea valoare a lui Q_s pentru care derivata sa în raport cu Q_B se anulează. Deci ;

$$Q'_{smed_p} = \frac{Q_B - Q_{med}}{\sqrt{k_f^2 Q^2_{C_{med}} - 2Q_B Q_{C_{med}} + Q_B^2}} = 0, \qquad (7)$$

de unde, ținînd cont că expresia de sub radical este pozitivă ($\Delta = Q^2_{med}(1 - 4k^2) < 0$), rezultă :

$$Q_B = Q_{C_{med}}. \qquad (8)$$

Concluzii

Problema ameliorării factorului de putere la întreprinderile industriale este o problemă de larg interes, importanța problemei și preocupările deosebite în acest domeniu fiind legiferate și prin normativele în vigoare.

În lucrare se scoate în evidență că modul în care se tratează la ora actuală această problemă nu conduce la rezultatele scontate, ci poate chiar favoriza înrăutățirea condițiilor de funcționare. Pentru înlăturarea acestor efecte se preconizează :

a) înregistrarea atît a energiei reactive absorbite de consumator, cît și a energiei reactive furnizată de acesta conform schemei din figura 3 ;

b) stabilirea valorii puterii reactive de compensare Q_B egală cu puterea reactivă medie la consumator $Q_{C_{med}}$.

Bibliografia

[1] Balaurescu, D., Eremia, M. *Îmbunătățirea factorului de putere.* Editura Tehnică, București, 1981.

[2] Mureșan, T. ș. a. *Aparate și instalații pentru reducerea consumurilor de energie electrică în industrie.* Editura Facla, Timișoara, 1984.

[3] M. E. E. PE 120/85. *Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele electrice de distribuție și la consumatorii industriali și similari.* ICEMENERG, București, 1985.

[4] M.E.E. PE 932/69. *Regulament pentru furnizarea și utilizarea energiei electrice* ICEMENERG, București, 1970.

(Primit la 4 aprilie 1990, acceptat la 30 mai 1990)

O metodă pentru estimarea comportării băilor de tratare a suprafețelor metalice sub influența tensiunii rețelei electrice de alimentare

Ș. l. dr. ing. MIHAELA IORDACHE *

Descriptori: tratarea suprafețelor metalice, rețele electrice de alimentare

Pe baza modelului prezentat în lucrare este posibilă evidențierea unor dependențe existente între indicatorii energetici ai băilor industriale încălzite electric și calitatea energiei electrice de alimentare. Această exprimare matematică poate servi la realizarea unor studii de optimizare tehnico-economică a calității energiei electrice furnizate consumatorilor și pe această bază — a funcționării instalațiilor industriale.

Owing to the model proposed in this paper one may point out certain existing dependences between the power indices of the electrically heated industrial baths and the supplied power quality. This mathematical expression may serve to the development of certain studies of technical-economical improvement of the electric power quality supplied to the users and thereby of the industrial equipment operation.

Introducere

În procesele tehnologice industriale se utilizează băi, în care pentru un scop sau altul se încălzește apă sau se încălzesc felurite soluții, temperatura lichidului în aceste băi nedepășind, de regulă, 100°C.

În cazul băilor încălzite electric, indicatorii tehnico-economici de funcționare ai acestor utilaje depind, alături de alți factori, și de nivelul de tensiune (u) aplicat rezistențelor încălzitoare, iar stabilirea nivelului optim al tensiunii care trebuie asigurat pe barele tabloului general de alimentare cu energie electrică a întregii întreprinderi trebuie să se facă luînd în considerare influența calității energiei electrice absorbită de la rețea asupra funcționării diferitelor tipuri de receptoare electrice existente în întreprinderea respectivă.

Problema este de actualitate, întrucît o serie de cercetări efectuate pe mari platforme industriale au evidențiat că cerințele standardelor de calitate a tensiunii nu sînt întotdeauna respectate [1].

Pe de altă parte, chiar în interiorul domeniului de variație a tensiunii de alimentare, îndeobște admis de reglementările interne și internaționale, este necesar să se evidențieze sensibilitatea diferitelor categorii de receptoare electrice la abaterile tensiunii față de valoarea nominală. Pe această bază devine apoi posibilă stabilirea unui nivel optim al tensiunii de alimentare a consumatorului respectiv, ținînd seama de structura sa complexă, precum și fundamentarea tehnico-economică reală a măsurilor de îmbunătățire a calității energiei electrice ce pot fi necesare în vederea asigurării acestui nivel optim.

În cele ce urmează este prezentată o modalitate de exprimare analitică a dependenței unor indicatori de funcționare pentru băi încălzite electric destinate tratării suprafețelor metalice, în funcție de nivelul tensiunii aplicat rezistențelor încălzitoare. Această modelare a funcționării unei băi în funcție de calitatea energiei de alimentare poate crea un cadru matematic adecvat delimitării domeniului de varia-

* Ș. l. dr. ing. Mihaela Iordache — Facultatea de Energetică, Institutul Politehnic București

ţie a tensiunii, optim, din punct de vedere tehnico-economic, pentru funcţionarea unor astfel de instalaţii.

1. Modelul matematic elaborat

În funcţionarea băilor calde se întîlnesc mai multe faze :

— încălzirea soluţiei din baie de la temperatura sa iniţială (θ_{b0}) pînă la atingerea temperaturii de regim (θ_{bM}), prescrisă de tehnolog pentru buna desfăşurare a procesului în baie ;

— încărcarea băii cu şarja de piese ce urmează a fi tratată;

— tratarea propriu-zisă a şarjei de piese în baie;

— descărcarea băii după terminarea prelucrării (perioada de pauză).

Încălzirea soluţiei reci din baie are loc, de regulă, o singură dată pe schimb (pe zi), iar după atingerea temperaturii de regim θ_{bM}, această temperatură se menţine pe întreg parcursul schimbului (zilei) într-un domeniu admisibil pentru buna desfăşurare a procesului din baie. La ieşirea temperaturii de regim a băii din domeniul admisibil, într-un sens sau altul, intervine termostatul care comandă schimbarea conexiunii rezistenţelor încălzitoare, după caz.

Reglajul temperaturii se face, în general, în trepte : prima treaptă, de putere nominală $P_{R1,n}$, este destinată încălzirii soluţiei din baie, ori de cîte ori temperatura acesteia este sau scade pe durata funcţionării sub limita inferioară admisibilă, iar treapta a doua, de putere nominală $P_{R2n} \leqslant P_{R1n}$, este destinată menţinerii temperaturii de regim a băii între limitele admisibile pentru buna desfăşurare a procesului tehnologic respectiv.

În continuare se pot pune o serie de întrebări :

a. Care este timpul de încălzire a soluţiei din baie şi care sînt factorii care influenţează acest timp ?

b. Care este timpul de creştere a temperaturii unei şarje introduse în baie ? Dacă temperatura soluţiei din baie ar rămîne constantă, calculul ar fi relativ simplu, dar în practică nu se întîmplă aşa : simpla încărcare a băii atrage după sine o coborîre a temperaturii soluţiei.

c. Care este valoarea acestei scăderi de temperatură ?

d. Care este influenţa puterii dezvoltate de rezistenţa încălzitoare asupra acestei scăderi, respectiv asupra duratei de tratare a pieselor şi care sînt factorii de influenţă ?

e. Care este evoluţia în timp a puterii cerute de la reţeaua electrică pe durata unui ciclu al tratamentului şi cum se poate acţiona asupra acesteia, în scopul economisirii energiei electrice absorbite din sistemul energetic ?

Pentru a putea răspunde la aceste întrebări, ca şi la altele de acelaşi fel, s-a elaborat un model de calcul care permite, pe baza unui număr restrîns de date de intrare, să se simuleze :

— variaţia în timp a temperaturii de lucru a soluţiei din baie în diferitele faze tehnologice, pe această bază fiind posibilă estimarea temperaturii medii pe durata de studiu considerată (schimb, zi etc.) ;

— variaţia în timp a cererii de putere de la reţeaua electrică de alimentare a băii, respectiv puterea medie solicitată de rezistenţele încălzitoare pe parcursul desfăşurării procesului tehnologic ;

— energia absorbită de la reţea pe durata respectivă ;

— duratele de conectare la reţea ale treptelor de rezistenţă, pe durata studiului. Considerentele teoretice care au stat la baza elaborării modelului sînt prezentate în continuare.

1.1. Ecuaţia de bilanţ termic corespunzătoare etapei de încălzire a băii reci poate fi pusă sub forma :

$$P_R \cdot \mathrm{d}t = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot m_S \cdot c_S \cdot \mathrm{d}\theta_b + p_{tt}(\theta_b) \cdot \mathrm{d}t \ [\mathrm{kWh}], \tag{1}$$

unde : m_S este masa soluţiei aflată în baie, kg ;

c_S — căldura specifică a soluţiei din baie, J/kg. grd ;

$p_{tt}(\theta_b)$ — pierderile termice ale băii în perioada de încălzire a soluţiei de la rece, dependente de temperatura momentană a băii θ_b, kW.

În perioada de încălzire au loc pierderi de căldură prin pereţii exteriori ai băii, prin intermediul suprafeţei calde a băii, precum şi datorită evaporării soluţiei din baie [2]. Dependenţa acestor pierderi de temperatura θ_b a soluţiei din baie se poate exprima printr-un polinom de gradul doi, ai cărui coeficienţi se pot determina analitic, cu suficientă exactitate pentru scopul propus, cu ajutorul unor date cunoscute din faza de proiectare a băii şi/sau din literatura de specialitate, cum ar fi : dimensiunile constructive ale băii, coeficientul de cedare de căldură al pereţilor băii către exterior, căldura latentă de vaporizare a soluţiei, căldura specifică a vaporilor, presiunea de saturaţie la temperatura soluţiei de la suprafaţa băii, presiunea parţială a vaporilor în aer etc.

Prin urmare, pierderile termice ale băii în etapa de încălzire „de la rece" se pot exprima în funcţie de temperatura băii sub forma :

$$p_{tt} = a_2 \cdot \theta_b^2 + a_3 \cdot \theta_b + a_4 \ [\mathrm{kW}]. \tag{2}$$

În faza de încălzire „de la rece" a băii, la reţea este conectată treapta I de putere nominală $P_{R1\,n}$.

Ţinînd seama de variaţia puterii dezvoltate de rezistenţă în funcţie de nivelul de tensiune u (exprimat în unităţi relative), precum şi de relaţia (2), ecuaţia de bilanţ (1) devine :

$$u^2 P_{R1\,n} \cdot \mathrm{d}t = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot m_S \cdot c_S \cdot \mathrm{d}\theta_b + a_2 \cdot \theta_b^2 + a_3 \cdot \theta_b + a_4 \qquad (3\,a)$$

sau, introducînd o serie de notaţii simplificatoare :

$$a^5 - a_3 \cdot \theta_b - a_2 \cdot \theta_b^2 = a_1 \cdot \frac{\mathrm{d}\theta_b}{\mathrm{d}t}, \qquad (3\,b)$$

unde :

$$a_1 = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot m_S : c_S\,; \quad a_5 = u^2 \cdot P_{R1,\,n} - a_4.$$

Integrînd ecuaţia (3), se obţine expresia analitică a duratei de încălzire a soluţiei din baie de la temperatura sa iniţială (θ_{b0}) pînă la valoarea temperaturii de regim $\theta_{bM,\,n}$, independentă de tensiune, pentru care a fost reglată instalaţia de comandă a băii :

$$\int_0^{t_i} \mathrm{d}t = \int_{0b_0}^{\theta_{bM,n}} \frac{a_1 \cdot \mathrm{d}\theta_b}{-a_2 \cdot \theta_b^2 - a_3 \cdot \theta_b + a_5}. \qquad (4)$$

Soluţia acestei integrale reprezintă de fapt durata de conectare la reţea a treptei I de rezistenţă :

$$t_i(u) = t_{R1}(u) = \frac{a_1}{a_2(\theta_{i1} - \theta_{i2})} \left[\ln \left| \frac{\theta_{bMn} - \theta_{i2}}{\theta_{bM,n} - \theta_{i1}} \right| - \ln \left| \frac{\theta_{b0} - \theta_{i2}}{\theta_{b0} - \theta_{i1}} \right| \right] \text{[h]}, \qquad (5)$$

în care : $\theta_{i1} = \dfrac{-a_3 + D_1}{2 \cdot a_2}$; $\theta_{i2} = \dfrac{-a_3 - D_1}{2 \cdot a_2}$;

$D_1 = \sqrt{a_3^2 + 4\,a_2 \cdot a_5}$.

Prin intermediul mărimii a_5, durata de încălzire (t_i) a băii „de la rece" pînă la temperatura de regim $\theta_{bM,n}$ este exprimabilă în funcţie de nivelul de tensiune aplicat rezistenţelor încălzitoare şi deci poate fi obţinută analitic legea de variaţie a acestei durate cu tensiunea u.

Poate fi, de asemenea, exprimată analitic influenţa exercitată de calitatea tensiunii de alimentare asupra celorlalţi indicatori de funcţionare ai băii dependenţi de t_i (energie electrică absorbită, productivitate etc.).

Energia absorbită de la reţea în această fază este de fapt energia absorbită de treapta I de putere, prin urmare se poate scrie :

$$W_{ab}(u) = u^2 \cdot P_{R1,n} \cdot t_{R1}(u) = u^2 \cdot P_{R1,n} \cdot t_i(u) \ \text{[kWh]}. \qquad (6)$$

La sfîrşitul perioadei de încălzire a soluţiei din baie, deci după atingerea temperaturii de regim nominal pentru care a fost reglată instalaţia de comandă a băii, termostatul comandă comutarea rezistenţelor, corespunzător treptei a II-a de putere : $P_{R2n} \leqslant P_{R1n}$.

1.2. Ecuaţia de bilanţ termic corespunzătoare etapei de încărcare-descărcare a băii poate fi exprimată sub aceeaşi formă ca şi relaţia (1) :

$$P_R \cdot \mathrm{d}t = a_1 \cdot \mathrm{d}\theta_{bM} + p_{tp}(\theta_{bM}) \cdot \mathrm{d}t \ \text{[kWh]}, \qquad (7)$$

unde $p_{tp}(\theta_{bM})$ sînt pierderile termice ale băii corespunzătoare perioadei de pauză destinată încărcării-descărcării băii, dependente de temperatura de regim a băii, kW.

Aceste pierderi au, de regulă, aceeaşi structură ca şi cele din perioada de încălzire a băii reci, fiind exprimabile tot printr-un polinom de gradul doi. Întrucît baia a ajuns între timp la temperatura de regim, coeficienţii diferă de cei folosiţi în paragraful precedent şi deci se vor folosi alte notaţii :

$$p_{tp} = a_6 \cdot \theta_{bM}^2 + a_7 \cdot \theta_{bM} + a_8. \qquad (8)$$

Calculul coeficienţilor care intervin în relaţia (8) se poate face de asemenea pe baza unor date cunoscute din faza de proiectare, ca şi în cazul relaţiei (2).

Atîta timp cît temperatura de regim a soluţiei din baie se menţine între limitele admisibile din punct de vedere tehnologic, căldura necesară pentru acoperirea pierderilor termice este furnizată de treapta a II-a de putere nominală $P_{R2,n}$.

Luînd în considerare relaţia (8) şi notaţiile anterioare rezultă :

$$a_9 - a_7 \cdot \theta_{bM} - a_6 \cdot \theta_{bM}^2 = a_1 \cdot \frac{\mathrm{d}\theta_{bM}}{\mathrm{d}t}, \ \text{[kWh]}, \qquad (9)$$

unde : $a_9 = u^2 \cdot P^{R2,n} - a_8$.

Integrînd ecuaţia (8), se obţine :

$$\int_0^{t_p} \mathrm{d}t = \int_{\theta_{bM,1}}^{\theta_{bM,2}} \frac{a_1 \cdot \mathrm{d}\theta_{bM}}{-a_6 \cdot \theta_{bM}^2 - a_7 \cdot \theta_{bM} + a_9}. \qquad (10)$$

Durata pauzei (t_p) fiind impusă de necesități tehnologice nu depinde de nivelul u al tensiunii în rețeaua de alimentare și este cunoscută. Prin urmare, cunoscînd din perioada anterioară de funcționare a băii temperatura $\theta_{bM,1}$ (de exemplu, temperatura de regim la sfîrșitul perioadei de încălzire $\theta_{bM,1} = \theta^b_{M,n}$), din relația (10) se poate deduce analitic temperatura de regim $\theta_{bM,2}$ la care ajunge baia la sfîrșitul pauzei de încărcare-descărcare :

$$\theta_{bM,2} = \frac{\theta_{p2} \pm K \cdot \theta_{p1}}{1 \pm K} \quad [°C], \qquad (11)$$

în care : $K = \text{Exp}\left[\frac{a_6}{a_1} \cdot t_p \cdot (\theta_{p1} - \theta_{p2}) + \right.$

$$\left. + \ln\left|\frac{\theta_{bM,1} - \theta_{p2}}{\theta_{bM,1} - \theta_{p1}}\right|\right];$$

$$\theta_{p1} = \frac{-a_7 + D_2}{2a_6}; \quad \theta_{p2} = \frac{-a_7 - D_2}{2a_6};$$

$$D_2 = \sqrt{a_7^2 + 4a_6 \cdot a_9}.$$

Prin intermediul mărimii a_9, temperatura $\theta_{bM,2}$ la care ajunge baia la sfîrșitul perioadei de pauză depinde de nivelul de tensiune u aplicat rezistențelor încălzitoare.

Dacă puterea P_{R2} furnizată de rezistență este din diferite motive (inclusiv datorită abaterii tensiunii față de valoarea nominală) insuficientă pentru acoperirea pierderilor de căldură pe durata t_p, atunci baia se va răci și relația (11) se va aplica pentru calculul lui $\theta_{bM,2}$ cu semnul minus ; în caz contrar, relația (11) se va aplica cu semnul plus.

În ipoteza în care temperatura de regim $\theta_{bM,2}$ *se încadrează pe durata* t_p *a pauzei între limitele admisibile din punct de vedere tehnologic*, energia absorbită de la rețea în această etapă este de fapt energia absorbită de treapta a II-a de putere, deci :

$$W_{ab}(u) = u^2 P_{R2,n} \cdot t_{R2} = u^2 P_{R2,n} \cdot t_p \quad [\text{kWh}]. \qquad (12)$$

În ipoteza în care temperatura de regim $\theta_{bM,2}$ *scade pe durata pauzei sub limita inferioară admisibilă* (*TA*1) termostatul comandă suplimentarea puterii, deci conectarea lui P_{R1}. Prin urmare, pe durata pauzei vor funcționa succesiv ambele trepte de putere.

Durata t_{R2}, la expirarea căreia se atinge limita inferioară *TA1* de temperatură admisibilă pentru funcționarea băii și deci se deconectează P_{R2}, se poate determina tot prin rezolvarea ecuației (10) :

$$t_{R2}(u) = \frac{a_1}{a_6(\theta_{p1} - \theta_{p2})}\left[\ln\left|\frac{\text{TA1} - \theta_{p2}}{\text{TA1} - \theta_{p1}}\right| - \right.$$

$$\left. - \ln\left|\frac{\theta_{bM,1} - \theta_{p2}}{\theta_{bM,1} - \theta_{p1}}\right|\right] \quad [\text{h}]. \qquad (13)$$

Rezultă atunci durata de conectare a treptei I de putere :

$$t_{R1}(u) = t_p - t_{R2}(u) \quad [\text{h}], \qquad (14)$$

respectiv energia absorbită de la rețea în perioada pauzei :

$$W_{ab}(u) = u^2 \cdot [P_{R1,n} \cdot t_{R1}(u) + P_{R2,n} \cdot$$

$$\cdot t_{R2}(u)] \quad [\text{kWh}]. \qquad (15)$$

Analog se poate face raționamentul și în cazul depășirii limitei superioare admisibile din punct de vedere tehnologic, situație în care termostatul comandă reducerea puterii absorbite de la rețea.

1.3. *Ecuația de bilanț termic corespunzătoare perioadei în care în baie este introdusă șarja de piese* poate fi dedusă ținînd seama de faptul că pe durata tratării pieselor în baie, energia absorbită de la rețea trebuie să asigure atît încălzirea pieselor, cît și acoperirea pierderilor termice ale băii. Atîta timp cît temperatura soluției din baie se situează între limitele admisibile pentru buna desfășurare a procesului tehnologic, la rețea este conectată treapta a II-a de putere nominală $P_{R2,n}$.

Cînd căldura dezvoltată de rezistență diferă de cea necesară desfășurării procesului, atunci echilibrul termic tinde să se stabilească la o altă temperatură decît cea inițială, pe seama căldurii înmagazinate, respectiv cedate de masa de soluție aflată în baie.

$$u^2 \cdot P_{R2,n} \cdot \mathrm{d}t = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot m_p \cdot c_p \cdot \mathrm{d}\theta_p +$$

$$+ \frac{10^{-3}}{3600} \cdot m_S \cdot c_S \cdot \mathrm{d}\theta_{bM} + p_{ts}(\theta_{bM})\,\mathrm{d}t \quad [\text{kWh}], \qquad (16)$$

în care : m_p este masa șarjei de piese introdusă în baie, [kg] ;

c_p — căldura specifică a pieselor tratate, [Jkg.grd] ;

$p^b_{ts}(\theta_{bM})$ — pierderile termice ale băii în perioada tratării șarjei, dependente de temperatura băii, exprimabile ca și pînă acum tot printr-un polinom de gradul doi, [kW] :

$$p_{ts}(\theta_{bM}) = a_{10} \cdot \theta^2_{bM} + a_{11} \cdot \theta_{bM} + a_{12} \quad [\text{kW}]. \qquad (17)$$

Temperatura θ_p a șarjei de piese la un moment dat poate fi exprimată în funcție de temperatura de regim a soluției din baie prin relația [3] :

$$\theta_p = \theta_{bM} - (\theta_{bM} - \theta_{0p}) \cdot \text{Exp}(-\beta \cdot t) \quad [°C], \qquad (18)$$

în care : θ_{0p} este temperatura inițială a pieselor, deci la introducerea lor în baie, [°C;]

$\beta = \frac{\alpha_{sp} \cdot A_p}{m_p \cdot c_p} \cdot 3600$ — constanta de timp a procesului;

α_{sp} — coeficientul de convecție între soluție și piese, [kW/m² . K];

A_p — suprafața prin care se realizează schimbul de căldură în baie, [m²].

Luînd în considerare relațiile (17) și (18), ecuația (16) devine :

$$A(t) \cdot \theta_{bM}^2 + B(t) \cdot \theta_{bM} + C(t, u) = \frac{d\theta_{bM}}{dt} \quad [\text{kWh}], \tag{19}$$

unde :

$$A(t) = \frac{-a_{10}}{a_{13}[1 - \text{Exp}(-\beta \cdot t)] + a_1};$$

$$B(t) = \frac{-a_{11} - a_{13} \cdot \beta \cdot \text{Exp}(-\beta \cdot t)}{a_{13}[1 - \text{Exp}(-\beta \cdot t)] + a_1};$$

$$C(t, u) = \frac{u^2 P_{R2n,} - a_{12} + a_{13} \cdot \theta_{0p} \cdot \beta \cdot \text{Exp}(-\beta \cdot t)}{a_{13}[1 - \text{Exp}(-\beta \cdot t)] + a_1};$$

$$a_{13} = \frac{10^{-3} \cdot m \cdot c_p}{3600}.$$

Se obține deci o ecuație diferențială de tip Riccati (a cărei rezolvare se poate face, de exemplu, numeric prin metoda Runge-Kutta). Se pot obține astfel valorile temperaturii de regim a soluției din baie (θ_{bM}) în diferite puncte situate pe axa timpului, la distanțe egale sau inegale. Aceste valori ale temperaturii θ_{bM} depind de nivelul de tensiune al rețelei de alimentare, prin intermediul termenului $C(t, u)$.

Dacă pe parcursul perioadei de tratare a pieselor ($t_ș$), temperatura în baie se menține între limitele admisibile din punct de vedere tehnologic, atunci pe tot acest interval de timp, la rețea este conectată treapta a doua de rezistență și deci :

$$t_{R2}(u) = t_ș(u) \quad [\text{h}], \tag{20}$$

$$W_{ab}(u) = u^2 \cdot P_{R2,n} \cdot t_{R2}(u) = u^2 \cdot P_{R2,n} \cdot t_ș(u) \quad [\text{kWh}]. \tag{21}$$

Dacă însă pe parcursul tratării șarjei temperatura soluției iese, într-un sens sau în celălalt, din domeniul admisibil pentru funcționare atunci trebuie surprins momentul pe axa timpului în care se atinge temperatura limită, deci momentul în care intervine termostatul pentru a modifica puterea absorbită de la rețea, în sensul cerut de variația temperaturii. Aceasta se poate face aplicînd, de asemenea metoda Runge-Kutta și în acest scop s-a elaborat un program de calcul specializat.

Prin urmare, în aceste condiții, pe durata șarjei se poate scrie :

$$W_{ab}(u) = u^2[P_{R1,n} \cdot t_{R1}(u) + P_{R2,n} \cdot t_{R2}(u)] \quad [\text{kWh}], \tag{22}$$

$$t_{R1}(u) = t_ș(u) - t_{R2}(u) \quad [\text{h}]. \tag{23}$$

Tot cu ajutorul metodei Runge-Kutta este posibilă și estimarea temperaturii la care ajunge soluția din baie la sfîrșitul duratei t_{R1}, deci temperatura de intrare în ciclul următor.

2. Rezultate și concluzii obținute prin aplicarea practică a modelului propus

În cele ce urmează, exemplificarea metodei propuse în paragraful 1 se face prin simularea funcționării unei *băi de spălare cu apă încălzită electric*, care face parte dintr-o instalație de pregătire a suprafețelor metalice.

Baia aleasă ca exemplu are dimensiunile cuvei 1200 × 700 × 750 mm, temperatura de lucru minimă $TA1 = 80°C$ și cea maximă $TA2 = 90°C$, puterea instalată pentru încălzire $P_{R1n} = 24$ kW, respectiv $P_{R2n} = 12$ kW. Agitarea soluției în baie se face prin barbotare cu aer comprimat (2 daN/cm²).

În cazul studiat, al spălării unor piese din oțel, durata de menținere a pieselor în soluție este de ordinul a 10 minute.

În figura 1 sînt prezentate grafic o parte din rezultatele obținute prin aplicarea metodologiei de calcul. S-au figurat trei cazuri : nivelul mediu al tensiunii de alimentare este cel nominal ($u = 1$), pentru care variația în timp a temperaturii soluției și a puterii absorbite de la rețea s-a trasat grafic cu linie plină, nivelul mediu al tensiunii de alimentare este cu 10% sub cel nominal ($u = 0{,}9$) pentru care variația s-a trasat cu linie punctată și, respectiv, nivelul mediu este cu 10% peste cel nominal ($u = 1{,}1$), pentru care s-a utilizat linie-punct.

Zonele hașurate reprezintă grafic o economisire a energiei electrice comparativ cu regimul nominal ($u = 1$), în timp ce zonele poșate reprezintă, dimpotrivă, un surplus de energie electrică, consumat pentru menținerea temperaturii de lucru între limitele $TA1$ și $TA2$, admisibile din punct de vedere tehnologic.

Pe ansamblu, în cazul băii analizate, spălarea caldă la $u = 0{,}9$ presupune un consum suplimentar de energie de circa 3%, comparativ

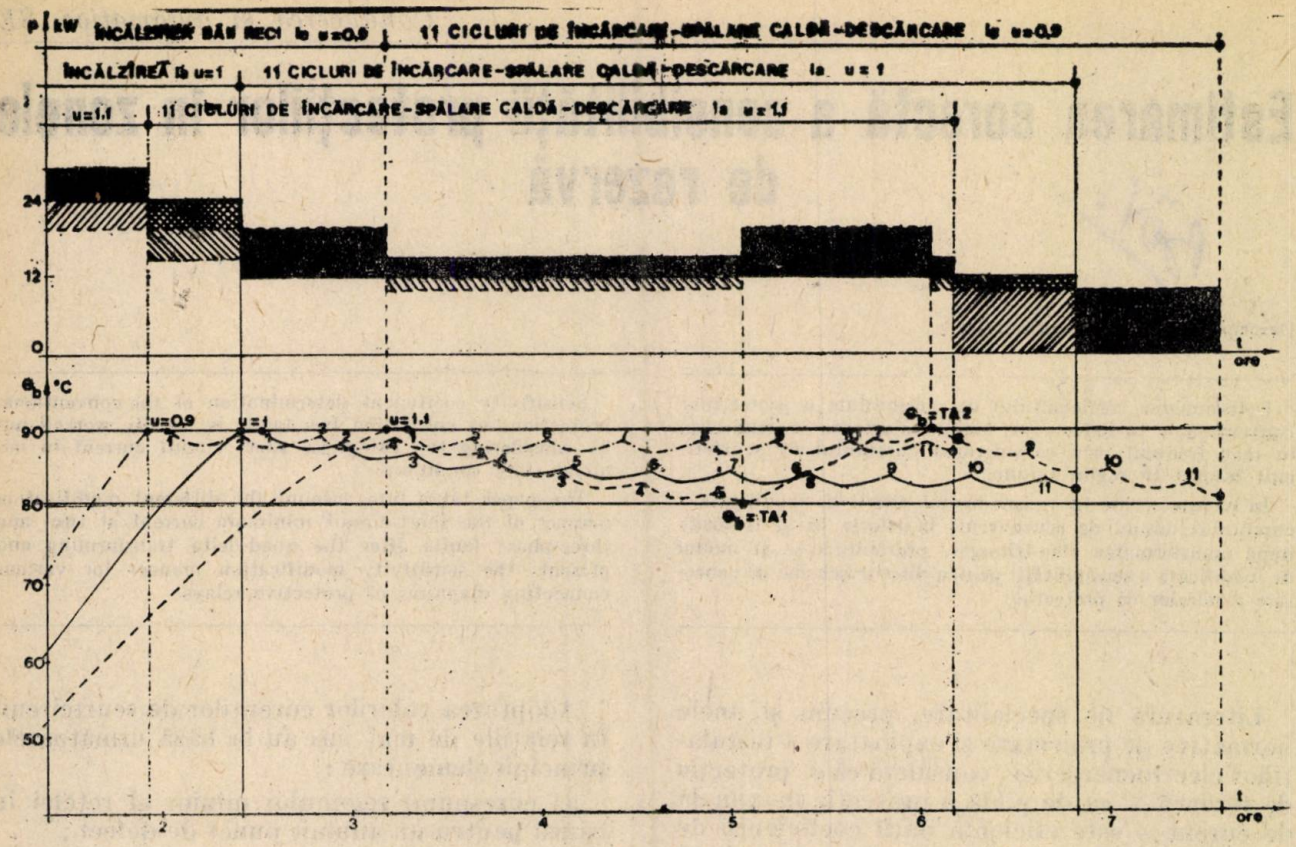


Fig. 1

cu spălarea la tensiune nominală. De asemenea, în acest caz, crește numărul de comutații ale contactoarelor care asigură comutarea treptelor de rezistență, ceea ce contribuie la reducerea fiabilității instalației, comparativ cu situația funcționării la $u = 1$. Timpul de funcționare al rezistențelor pentru încălzirea băii de la rece, precum și pentru spălarea șarjelor de piese în aceleași condiții de calitate ca și în regim nominal crește cu circa 10%.

Creșterea tensiunii de alimentare cu 10% conduce, de asemenea, la o creștere a consumului de energie cu circa 6% față de regimul nominal. Pe de altă parte, crește riscul supraîncălzirii rezistențelor încălzitoare. Timpul de funcționare pentru spălarea aceleiași mase de piese se reduce însă cu 10%.

Metoda de modelare propusă face deci posibilă, încă din faza de proiectare, studierea pe cale analitică a comportării băilor încălzite electric, aflate în diverse regimuri de exploatare. Pe baza acestui model matematic devin posibile studii de optimizare a funcționării acestor utilaje și deci alegerea unor regimuri care să fie caracterizate printr-un consum minim de energie și printr-un risc cît mai redus de oprire a instalațiilor din cauze electrice.

Problema stabilirii valorii optime a tensiunii de alimentare, privită ca o componentă a optimizării comportării în exploatare a receptoarelor electrice, trebuie analizată pe ansamblul instalațiilor alimentate de la același tablou de forță, întrucît concluziile pot să difere de la un utilaj la altul, în funcție de specificul utilajului și al procesului tehnologic din care face parte.

Bibliografie

[1] Iordache, M. *Implicații tehnico-economice ale calității energiei electrice*. Teză de doctorat, IPB, 1987.

[2] Iudaeva, E. M. *Snijenie tpoeri tepla v tehnologhiceskih vannah*. In: Promîslennaia energhetika, nr. 7, 1989, p. 48—49.

[3] Vermeșan, E. *Îndrumător pentru tratamente termice*. Editura Dacia, Cluj, 1987.

(Primit la 19 aprilie 1990, acceptat la 24 mai 1990)

Estimarea corectă a sensibilităţii protecţiilor în zonele de rezervă

Conf. dr. ing. STELIAN POPESCU *

Descriptori: protecţie prin relee

Determinarea coeficientului de sensibilitate a protecţiilor convenţionale la defecte pe barele colectoare se realizează în mod frecvent prin considerarea curentului de scurtcircuit bifazat în regim minim.

În lucrare se are în vedere modul diferit de modificare a curentului minim de scurtcircuit la defecte bi- şi trifazate după transformarea stea-triunghi, prezentîndu-se şi modul de modificare a sensibilităţii pentru diferite scheme de conectare a releelor de protecţie.

Sensitivity coefficient determination of the conventional protections at substation bus faults is usually worked out by considering the two-phase short circuit current in minimal state conditions.

The paper takes into account the different modification manner of the short-circuit minimum current at two- and three-phase faults after the quad-delta transforming and presents the sensitivity modification manner for various connecting diagrams of protective relays.

Literatura de specialitate, precum şi unele normative de proiectare şi exploatare a instalaţiilor electroenergetice, consideră că o protecţie de rezervă — ca de pildă o protecţie maximală de curent — este eficientă dacă coeficienţii de sensibilitate la scurtcircuite pe prima bară ($K_{sens\,I}$) sau pe cea de a doua bară ($K_{sens\,II}$) depăşesc anumite valori supraunitare:

$$K_{sens\,I} = \frac{I^{(2)}_{sc\,I}}{I_{rp}} \geqslant 1{,}5 \quad \text{şi} \quad K_{sens\,II} = \frac{I^{(2)}_{sc\,II}}{I_{rp}} \geqslant 1{,}3, \tag{1}$$

în care:

$I^{(2)}_{sc\,I}$; $I^{(2)}_{sc\,II}$ sînt valorile curenţilor măsuraţi în punctul de instalare a releelor la scurtcircuit bifazat în regim minim pe barele I, respectiv II;

I_{rp} — curentul de reglare al protecţiilor respective.

Relaţiile de mai sus au un caracter general, adică sînt aplicabile fără nici o precizare asupra caracterului impedanţei ce se intercalează între punctul de scurtcircuit şi cel de montare a releului, fapt ce conduce, în unele cazuri, la erori inadmisibile, după cum se va arăta mai jos.

Valorile supraunitare ale coeficienţilor de sensibilitate sînt justificate şi au în vedere eventualele cauze suplimentare care pot diminua valorile curenţilor de defect (de exemplu scurtcircuitele cu arc electric), însă valorile curenţilor de scurtcircuit pentru un anumit tip de defect ce se iau în considerare sînt discutabile.

Adoptarea valorilor curenţilor de scurtcircuit în relaţiile de mai sus au la bază următoarele principii elementare:

a) corespund regimului minim al reţelei în cauză pentru un anumit punct de defect;

b) pentru acelaşi punct de defect se consideră regimul de scurtcircuit bifazat, care conduce la cele mai mici valori ale curentului de defect.

Se ştie de pildă că pentru o linie (cablu) electrică, valoarea curentului de scurtcircuit bifazat, $I^{(2)}_{sc}$, depinde de valoarea curentului de scurtcircuit trifazat, $I^{(3)}_{sc}$, — la defect franc — după relaţia:

$$I^{(2)}_{sc} = \frac{\sqrt{3}}{2} I^{(3)}_{sc} = 0{,}865\, I^{(3)}_{sc}. \tag{2}$$

Ca efect, pentru o atare situaţie, sau în cazul în care între punctul de montare al releelor şi cel de scurtcircuit sînt intercalate elemente care nu produc modificarea argumentului fazorilor de curent — de exemplu transformatoare de putere de tipul Y Y 12 sau Y Y 6 — relaţiile (1) se pot aplica fără rezerve.

În cazurile în care în zonele de lucru ale protecţiilor sînt intercalate transformatoare de putere cu conexiuni Y Δ sau Δ Y (11; 5; 1 sau 7) relaţiile (1) trebuie reconsiderate în sensul că ele capătă formele generalizate:

$$K_{sens\,I} = \frac{I_{sc.min\,I}}{I_{rp}} \geqslant 1{,}5, \tag{3}$$

$$K_{sens.\,II} = \frac{I_{scmin\,II}}{I_{rp}} \geqslant 1{,}3, \tag{4}$$

* Conf. dr. ing. Stelian Popescu — Institutul Politehnic, Bucureşti.

în care :

$I_{sc.min\,I}$; $I_{sc.min\,II}$ sînt valorile minime ale curenţilor măsuraţi în punctul de instalare a releelor în regim de scurtcircut minim pe barele I şi respectiv II.

În adevăr, în cazul în care în zonele de lucru există un transformator stea-triunghi (de pildă YΔ 11) şi se presupune un raport de transformare global egal cu unitatea, circulaţia curenţilor pe linii şi în înfăşurări se prezintă ca în figura 1. Asupra acestei scheme trebuie făcute următoarele observaţii :

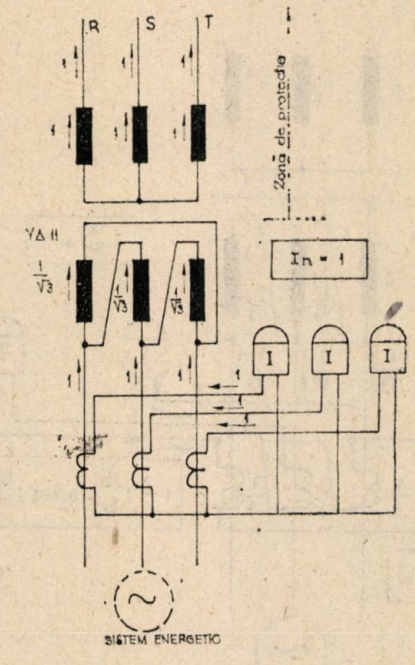


Fig. 1.

1 — prin valoarea unitate au fost desemnaţi curenţii nominali în diverse tronsoane ale reţelei, inclusiv curenţii care străbat releele ($I_n = 1$);

2 — asigurarea unui raport de transformare global egal cu unitatea în condiţiile unei conexinui YΔ (11) a transformatorului de forţă, implică un raport de transformare a curenţilor pe înfăşurări egal cu :

$$K_T = 1/\frac{1}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}. \qquad (5)$$

De menţionat că, atît în cazul regimului nominal de funcţionare, cît şi în caz de scurtcircuit, fiind vorba numai de protecţii de curent, interesează numai modificările curenţilor ca modul.

Considerînd regimul de scurtcircuit trifazat într-un punct oarecare K circulaţia curenţilor este cea din figura 2 (practic identică cu cea din figura 1), cu observaţia că de data aceasta *curentul de scurtcircuit trifazat* este egal cu unitatea ($I_{sc}^{(3)} = 1$).

Situaţia cea mai interesantă o prezintă regimul de scurtcircuit bifazat (fig. 3), de fapt cel mai frecvent în reţelele cu nulul izolat sau compensat. Considerînd acelaşi punct de defect K

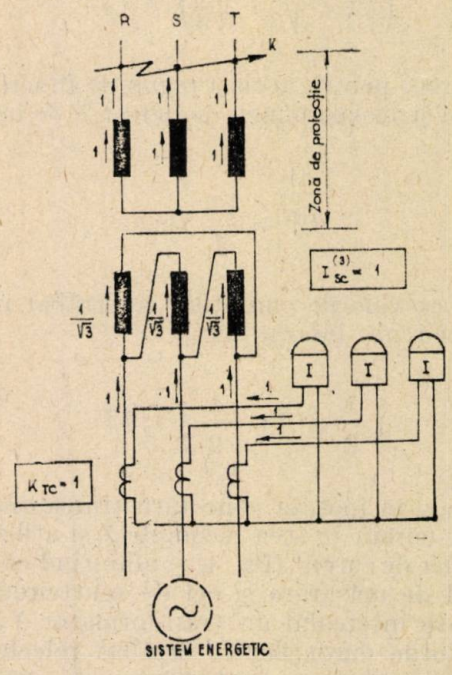


Fig. 2.

circulaţia curenţilor este cea din figura 3, cu observaţia că, de data aceasta, unitatea defineşte valoarea curentului de scurtcircuit bifazat ($I_{sc}^{(2)} = 1$). Din analiza figurii 3 se constată

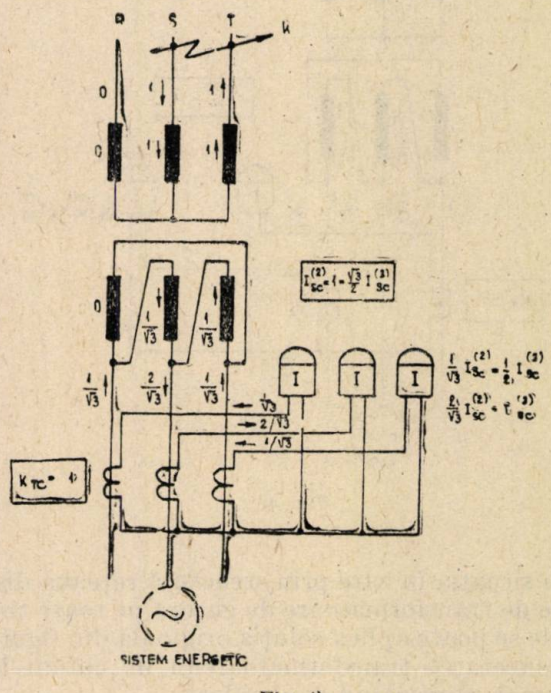


Fig. 3.

că în cazul scurtcircuitelor bifazate valorile curenților ce străbat releele (conexiune în stea completă) sînt, pe cele trei faze :

$$\left(\frac{1}{\sqrt{3}};\ \frac{2}{\sqrt{3}};\ \frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times I_{sc}^{(2)}. \qquad (6)$$

Deoarece pentru același regim de funcționare a rețelei și același punct de defect K se impune relația :

$$I_{sc}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc}^{(3)}, \qquad (7)$$

rezultă că valorile curenților ce străbat releele la scurtcircuit bifazat sînt :

$$\left(\frac{1}{2};\ 1;\ \frac{1}{2}\right) \times I_{sc}^{(3)}. \qquad (8)$$

Așadar, în ipoteza conectării transformatoarelor de curent în stea incompletă și utilizării a două relee de curent (fig. 4) și admițînd că între punctul de măsurare și cel de scurtcircuit bifazat este intercalat un transformator $Y\Delta$ (sau ΔY) valorile curenților ce străbat releele sînt $0{,}5\ I_{sc}^{(3)}$ (în ipoteza acoperitoare că valoarea $1 \times I_{sc}^{(3)}$ apare pe faza fără releu).

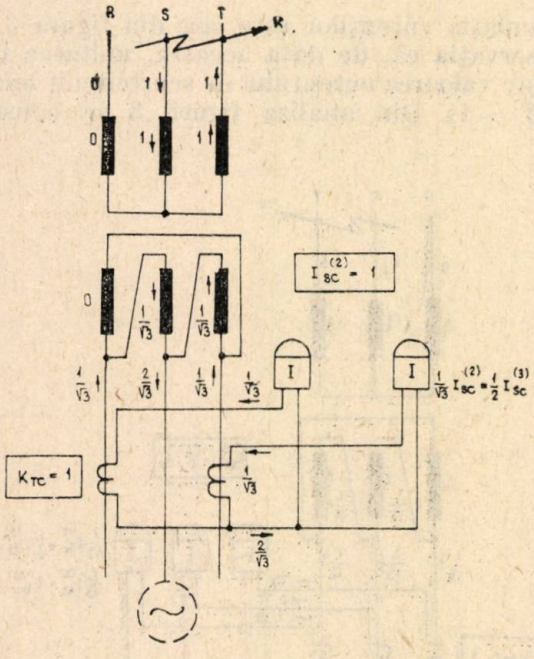


Fig. 4.

În situația în care prin structură rețeaua dispune de transformatoare de curent pe toate trei fazele se poate aplica soluția originală din figura 5 (conectarea transformatoarelor de curent în triunghi, alimentînd două relee).

De remarcat faptul că, la fel ca și în cazul transformatoarelor de forță, pentru asigurarea unui factor de transfer global egal cu unitatea. reductoarele de curent vor avea raportul de transformare

$$K_{TC} = 1/\frac{1}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}.$$

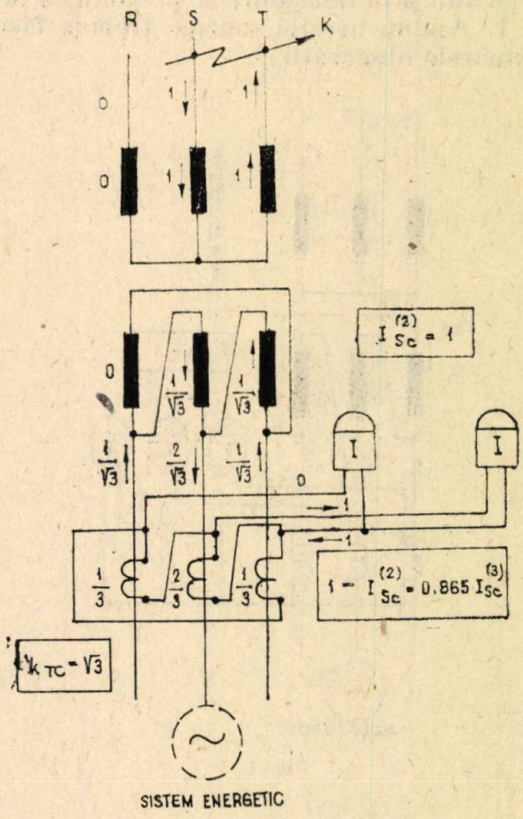


Fig. 5.

Ca efect pe circuitele secundare alimentînd releele curenții devin :

$$(0;\ 1;\ 1) \times I_{sc}^{(2)}, \qquad (9)$$

respectiv :

$$(0;\ 0{,}865;\ 0{,}865) \times I_{sc}^{(3)}. \qquad (10)$$

Pe baza celor arătate mai sus, pentru calculul sensibilității protecțiilor maximale de curent în zonele din aval de transformatoare cu conexiuni $Y\Delta(\Delta Y)$ se desprind următoarele concluzii în ceea ce privește valorile curenților de scurtcircuit ce se iau în considerare în determinarea factorilor de sensibilitate definiți de relațiile (3) și (4) :

1 — sensibilitatea minimă se obține în cazul adoptării soluției cu două relee montate pe două

faze și conectarea, transformatoarelor de curent în stea incompletă (vezi fig. 4), caz în care în relațiile (3) și (4) se adoptă :

$$I_{sc.min} = 0{,}5 \times I_{sc}^{(3)}; \qquad (11)$$

2 — o îmbunătățire sensibilă se obține în cazul adoptării soluției cu două relee racordate la transformatoarele de curent conectate în triunghi (vezi fig. 5), caz în care în relațiile (3) și (4) se adoptă :

$$I_{sc.min} = 0{,}865 \times I_{sc}^{(3)} = I_{sc}^{(2)}; \qquad (12)$$

3 — cea mai bună sensibilitate se obține dacă se folosește soluția cu trei relee montate pe cele trei faze ale transformatoarelor de curent conectate în stea completă (vezi fig.3), situație în care se adoptă :

$$I_{sc.min} = 1 \times I_{sc}^{(3)}. \qquad (13)$$

Cele trei soluții opționale sînt considerate succesiv pînă ce se obțin valorile numerice dorite ale coeficienților de sensibilitate (relațiile (3) și (4)).

(Primit la 12 iunie 1990, acceptat la 11 iulie 1990)

Reprezentarea motoarelor de inducție prin caracteristici dinamice de putere funcție de tensiune și frecvență

Dr. ing. MIHAI MOGA *

Descriptori : motoare de inducție, caracteristici dinamice

În cadrul lucrării sînt elaborate caracteristicile dinamice ale motorului de inducție sub forma sistemelor de ecuații intrare-stare-ieșire neliniare de ordinul patru, adecvate reprezentării acestei categorii de consumatori în modelele matematice ale sistemelor electroenergetice complexe.

Sînt prezentate ipotezele simplificatoare, convențiile de semn adoptate și etapele parcurse pentru obținerea caracteristicilor dinamice ale motorului de inducție. Aceste caracteristici sînt validate prin compararea răspunsurilor tranzitorii ale unor motoare de inducție reprezentate prin caracteristicile dinamice prezentate cu cele obținute pe cale experimentală în cadrul unor teste de laborator.

In the paper the dynamic characteristics of the induction motors are developed in the form of the non-linear input-state-output of the fourth order fitted with the representation of this class of loads in the mathematical models of complex electric power systems.

The simplifying hypothesis, the sign conventions adopted and the phases passed through to get the induction motor dynamic characteristics are presented. These characteristics are validated by comparing the transient responses of some induction motors with the ones experimentally achieved within certain laboratory tests.

Introducere

Motoarele de inducție constituie elementele componente ale consumatorilor complecși industriali cu cea mai mare pondere, (50 — 60)%, în consumul de energie electrică al acestora [7, 8, 10, 18] și în consecință elementele care influențează cel mai sensibil comportarea acestora în regimurile staționare și tranzitorii ale sistemului electroenergetic (SEE).

Reprezentarea cît mai realistă a sarcinii în modelizarea matematică a SEE în vederea analizei regimurilor dinamice și tranzitorii ale acestora, implică reprezentarea motoarelor de inducție sau a grupelor de motoare de inducție prin modele matematice adecvate, similare reprezentării mașinilor sincrone din sistem [1; 2, 7, 14].

Forma practică de reprezentare a motoarelor de inducție în regimurile dinamice și tranzitorii ale sistemelor electroenergetice este cea a sistemelor de ecuații intrare-stare-ieșire [1, 10].

$$\frac{d\underline{x}}{dt} = \mathrm{f}(\underline{x}, \underline{u}); \quad \underline{y} = \mathrm{f}(\underline{x}, \underline{u}), \qquad (1)$$

unde :

$\underline{x}$ reprezintă vectorul mărimilor de stare (mărimi nemăsurabile);

$\underline{u} = [U, \omega]^t$ — vectorul mărimilor oferite de sistemul electroenergetic la bornele motorului, adică tensiunea și frecvența (plusația) sa ;

$\underline{y} = [P, Q]^t$ — vectorul mărimilor de ieșire, mărimi prin care motorul de inducție răspunde la modificările mărimilor oferite de SEE la bornele sale.

* Dr. ing. Mihai Moga — Catedra Electroenergetică, Institutul Politehnic, Timișoara.

Acest model matematic cunoscut în literatură sub denumirea de caracteristici dinamice ale motorului de inducție [6, 14, 16, 18] permite reprezentarea sa în modelele matematice ale sistemelor electroenergetice complexe în care se cunosc variațiile mărimilor electrice oferite de sistem la bornele motorului (adică tensiune și frecvență); se impune determinarea răspunsului sarcinii la aceste variații.

Elaborarea în 1928 a teoriei celor două axe de către Park și Blondel a condus la crearea unui număr mare de modele matematice pentru reprezentarea motoarelor de inducție în regimuri dinamice, avînd diferite grade de detaliere și considerînd diverse convenții de semn pentru mărimile utilizate [2, 3, 5, 10, 15, 16].

În consecință, elaborarea unor caracteristici dinamice adecvate motoarelor de inducție implică, pe lîngă considerarea unor ipoteze simplificatoare acceptabile pentru motoarele de puteri mici și medii, ce constituie ponderea în această categorie de consumatori, precizarea convențiilor de semn adoptate și parcurgerea atentă a tuturor etapelor necesare deducerii analitice a modelului matematic.

În cadrul prezentei lucrări se elaborează caracteristicile dinamice adecvate reprezentării motoarelor de inducție, considerînd cunoscuți parametrii R_1, R'_2, L_σ, L_m și R_{Fe} ai circuitului echivalent (figura 3) [4, 13, 19] și mărimile electrice la borne în regimul permanent de funcționare anteperturbație U_0, ω_0 P_0 și Q_0, toate mărimile fiind exprimate în unități relative nominale (u.r.n.). În acest scop, după prezentarea ipotezelor simplificatoare și a convențiilor de semn adoptate, se prezintă etapele parcurse pentru elaborarea caracteristicilor dinamice ale motorului de inducție. Ultimul paragraf al lucrării este consacrat validării caracteristicilor obținute prin teste experimentale de laborator la trei motoare de inducție cu cele obținute pe cale analitică prin reprezentarea acelorași motoare prin caracteristicile dinamice elaborate mai sus.

Deoarece simbolurile utilizate pentru diversele mărimi sînt cele uzuale în domeniul mașinilor electrice [4, 13], pentru reducerea volumului lucrării nu se precizează semnificațiile lor în text, semnificațiile principalelor mărimi care vor interveni fiind prezentate sintetic în anexă și confirmate prin inscripționările pe figurile corespunzătoare. Totodată, se precizează că toate mărimile electrice, fie valori momentane (notate cu litere mici), fie valori efective (notate cu majuscule), precum și parametrii electrici ai circuitelor echivalente ale motorului sînt exprimate în u.r.n.

1. Ipotezele simplificatoare și convențiile de semn adoptate

Prima categorie de ipoteze simplificatoare care se va considera se referă la aspectele constructive ale mașinii de inducție idealizate, ipoteze general acceptate în literatură [1, 3, 4, 6, 9, 10, 15, 16, 17]:

a) întrefier uniform;

b) trei faze statorice amplasate simetric în conformitate cu cerințele construcției trifazate simetric;

c) bobinele sau barele rotorice amplasate de asemenea simetric, astfel încît să producă în întrefier tensiuni magnetomotoare sinusoidale.

A doua categorie de ipoteze simplificatoare se referă la parametrii electrici ai circuitului echivalent al motorului real, unde oricum intervin multe incertitudini privind valorile lor, indiferent de modul de determinare [7, 12, 19]:

1. Se consideră inductanțele de dispersie $L_{\sigma 1}$ și $L'_{\sigma 2}$ ale înfășurărilor statorică și respectiv rotorică redusă la același nivel de tensiune, egale [3, 6, 16, 17, 20]. Avînd în vedere modul de estimare a inductanței de dispersie pe baza datelor de catalog conform [19], inductanța de dispersie L_σ comună pentru ambele înfășurări rezultă ca fiind media aritmetică a inductanțelor $L_{\sigma 1}$ și $L'_{\sigma 2}$.

2. Saturația inductanței de magnetizare se consideră prin expresia $L_m = L_{m0}/U^{cs}$, conform [19], unde L_{m0} este inductanța de magnetizare corespunzătoare regimului permanent nominal al motorului, iar cs este un exponent ce caracterizează gradul de saturație al miezului feromagnetic, a cărui valoare (0,5—0,9) s-a determinat prin teste de laborator [19].

3. Pierderile de putere activă în miezul feromagnetic al motorului se consideră printr-un element transversal, avînd rezistența $c \cdot R_{Fe}$, unde $c = 1 + L_\nu/L_m$ [13], conform reprezentării motorului prin schema echivalentă în L [13], element ce poate fi inclus în rețeaua electrică de alimentare, deoarece nu afectează regimurile dinamice ale motorului.

În scrierea ecuațiilor de funcționare ale motorului de inducție se adoptă următoarele ipoteze simplificatoare:

4. Se neglijează fenomenele tranzitorii statorice (termenii $d\psi_d/dt$ și $d\psi_q/dt$), [1, 3, 8, 11, 16, 17]. Din punct de vedere fizic aceasta implică neglijarea componentei continue din curenții statorici care tind să se opună modificărilor înlănțuirilor statorice, componente care oricum nu pot fi incluse în reprezentările rețelei electrice dată numai pentru fundamentală. Totodată, considerarea acestor componente impune utilizarea unui interval de integrare foarte mic, de ordinul a 0,001 s față de (0,02 — 0,05)s cît se utilizează de obicei la regimurile tranzitorii electromecanice [7, 18].

5. Pierderile mecanice (prin frecări și pentru ventilație) se consideră incluse în puterea mecanică rezistentă (a mecanismului antrenat) [6, 15, 16].

Convențiile de semn adoptate pentru construirea caracteristicilor dinamice ale motorului de inducție au fost stabilite astfel încît să se

obţină valori pozitive pentru principalele mărimi electrice care intervin, considerînd sensurile naturale de mişcare. Aceste convenţii sînt :

a) puterile active şi reactive inductive se consideră pozitive dacă sînt absorbite de motorul de inducţie ;

b) sensul de rotaţie pozitiv este sensul dextrogir, corespunzător sensului natural de rotaţie al maşinilor rotative ;

c) axa transversală q se consideră defazată cu $\pi/2$ înaintea axei longitudinale d, considerînd sensul de rotaţie admis ;

d) originea unghiurilor se consideră axa fazei statorice 1 ;

e) sensul pozitiv pentru unghiuri se adoptă identic cu sensul pozitiv de rotaţie acceptat (dextrogir) ;

f) pentru scrierea ecuaţiilor tensiunilor se adoptă convenţia de la receptor : $u = R \cdot i + \mathrm{d}\psi/dt$;

g) tensiunea se consideră pozitivă dacă este orientată dinspre punctul cu potenţial mai ridicat spre cel cu potenţial mai scăzut.

2. Ecuaţiile de funcţionare ale motorului de inducţie echivalent

Motorul de inducţie real, caracterizat de ecuaţiile tensiunilor şi fluxurilor reprezentate în coordonate de fază [4] se transformă într-un motor echivalent din punct de vedere energetic (fig. 1), conform condiţiilor de echivalenţă precizate în [4].

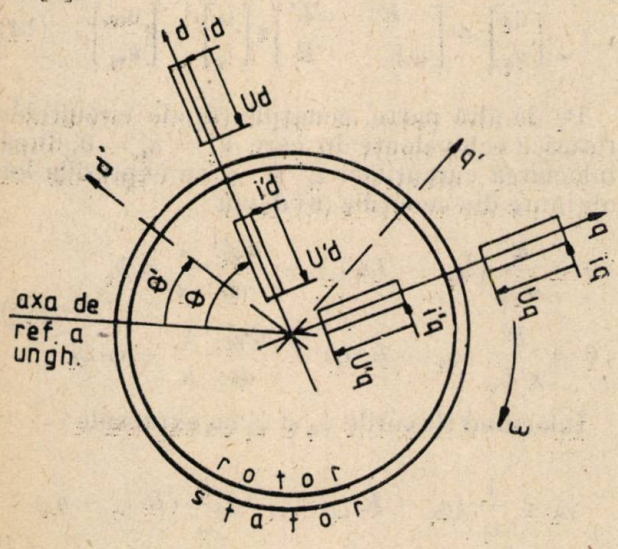


Fig. 1. Schema electrică a motorului de inducţie echivalent.

Conform teoriei celor două axe în sistemul de ecuaţii de funcţionare ale motorului de inducţie echivalent toate mărimile electrice sînt reprezentate într-un sistem de axe de coordonate rectangular d, q, ce se roteşte cu turaţia sincronă, ω_0, constantă.

Modificarea frecvenţei tensiunii din SEE, echivalentă cu modificarea pulsaţiei, ω, a fazorului tensiunii U la borne, determină modificarea unghiului de poziţie δ al acesteia în sistemul de coordonate d, q (fig. 2) şi a unghiului θ' de poziţie al axelor rotorice d', q', conform relaţiilor :

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_0 \tag{2}$$

$$\theta' = \omega' t = \omega(1 - s)t \tag{3}$$

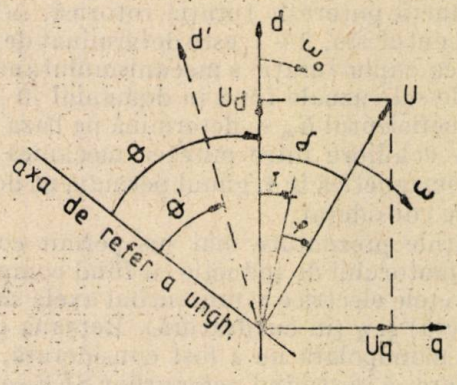


Fig. 2. Poziţiile relative ale axelor de coordonate şi a tensiunii la borne

Considerînd ipotezele simplificatoare şi convenţiile de semn precizate anterior, sistemul de ecuaţii care descrie funcţionarea motorului de inducţie echivalent în sistemul de axe de coordonate d, q, obţinut prin aplicarea transformărilor Park ecuaţiilor în coordonate de fază ale motorului real este [4] :

$$u_d = R \cdot i_d - \psi_q \cdot \omega \; ; \; u_q = R \cdot i_q + \psi_d \cdot \omega$$

$$u'_q = R' \cdot i'_d + \frac{d\psi'_d}{dt} - s \cdot \omega \cdot \psi'_q \; ; \tag{4}$$

$$u'_q = R' \cdot i' + \frac{d\psi'_d}{dt} + s \cdot \omega \cdot \psi'_d \tag{5}$$

$$\psi_d = L_s \cdot i_d + L_m \cdot i'_d \; ; \; \psi_q = L_s \cdot i_q + L_m \cdot i'_q \tag{6}$$

$$\psi'_d = L_m \cdot i_d + L_r \cdot i'_d \; ; \; \psi'_q = L_m \cdot i_q + L_r \, i'_q \tag{7}$$

unde notaţiile au semnificaţiile uzuale [4] (mărimile afectate de indicele ' (prim) se referă la mărimi rotorice reduse la nivelul de tensiune statorică).

În funcţie de parametrii circuitului echivalent al motorului de inducţie real [19] parametrii electrici care intervin în ecuaţiile (4—7) au expresiile :

$$R = 2/3 \cdot R_1 \; ; \; R' = 2/3 \; R'_2 \; ; \; L_s = L_r = L_m + L_\sigma . \tag{8}$$

Sistemul de ecuații (4—7) se completează cu ecuația (1) și ecuația de mișcare a rotoarelor [1, 10, 18] :

$$T\frac{ds}{dt} = K_m\,[\omega(1-s)]^{\beta+1} - (u_{ed}\cdot i_d + u_{eq}\cdot i_q), \tag{9}$$

unde T este constanta de timp a rotorului motorului împreună cu a mecanismului antrenat, iar $K_m[\omega(1-s)]^{\beta+1}$ reprezintă puterea mecanică (rezistență) a mecanismului antrenat considerată ca o funcție putere de turația rotorică, $\omega(1-s)$. Exponentul său, $\beta+1$, este determinat de caracteristica cuplu-turație a mecanismului antrenat, valorile sale uzuale fiind în domeniul (0 ÷ 3) [6, 18]. Coeficientul K_m se determină pe baza condiției de echilibru între puterea mecanică și cea electromagnetică în regimul permanent de funcționare considerat.

Ecațiile prezentate mai sus permit considerarea motorului de inducție ca fiind compus din două rețele electrice reprezentînd axele sincrone d(directă) și q (în cuadratură). Rețeaua de secvență monopolară nu a fost considerată, avînd în vedere că în studiul regimurilor SEE se consideră doar regimurile simetrice.

Mărimile care intervin în aceste ecuații pot fi grupate în următoarele categorii :

I — parametrii electromagnetici ai motorului și mecanismului antrenat : R, R', L_m, L_o, T, K_m, β (șapte mărimi), presupuse cunoscute ;

II — variabila ale căror valori se consideră cunoscute : $u_d, u_q, u'_d = \omega_q = 0$ (patru mărimi) ;

III — variabile ale căror valori trebuie determinate prin rezolvarea sistemului de ecuații : i_d, i_q, i'_d, i'_q, s, ψ_d, ψ_q, ψ'_d, ψ'_q (nouă mărimi) ;

IV — variabila independentă în funcție de care se exprimă celelalte mărimi ; t — timpul.

Referitor la mărimile din categoria I se face precizarea că acestea nu sînt constante, parametrii trebuie exprimați în funcție de mărimile din categoria a III-a (datorită fenomenelor neliniare). Mărimile din categoria a-II-a reprezintă mărimile oferite de SEE la bornele motorului, denumite în continuare mărimi de sistem, ele constituind intrările (perturbațiile) pentru caracteristicile dinamice ale motorului, care vor fi dezvoltate în continuare.

3. Deducerea sistemelor de ecuații ale caracteristicilor dinamice ale motorului de inducție

În vederea obținerii caracteristicilor dinamice ale motorului de inducție de forma (1) în care vectorii x și y sînt definiți în introducere, iar vectorul de stare x se consideră cu componentele : u_{ed}, u_{eq} s și δ ; se elimină din sistemul de ecuații (4—9) componentele curentului statoric și rotoric i_d, i_q i'_d și respectiv i'_q și înlănțuirile magnetice ψ_d și ψ_q.

Astfel, înlocuind înlănțuirile magnetice ψ_d, ψ_q, date de relațiile (6), în ecuațiile (2) ale înfășurărilor statorice, acestea devin :

$$\begin{aligned} u_d &= R\cdot i_d - \omega(L_s\cdot i_q - L_m\cdot i'_q)\,; \\ u_q &= R\cdot i + \omega(L_s\cdot i_d + L_m\cdot i'_d)\,; \end{aligned} \tag{10}$$

unde, dacă se introduc curenții i'_d și i'_q prin expresiile lor obținute din ecuațiile (7), rezultă :

$$\begin{aligned} u_d &= R\cdot i_d - \omega L_s\, i_q - \frac{\omega L_m}{L_r}\,[\psi'_q - L_m\cdot i_q]\,; \\ u_q &= R\cdot i_q + \omega L_s i_d + \frac{\omega L_m}{L_r}\,[\psi'_d - L_m\cdot i'_d]. \end{aligned} \tag{11}$$

Introducînd notațiile uzuale :

$$L' = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}, \tag{12}$$

pentru inductanța tranzitorie,

și :

$$u_{ed} = -\frac{L_m}{L_r}\,\omega\cdot\psi_q\,;\; u_{eq} = \frac{L_m}{L_r}\,\psi'_d\,\omega\,, \tag{13}$$

pentru componentele t.e.m. proporționale cu fluxurile rezultante ce înlănțuie înfășurările echivalente rotorice ψ'_d și ψ'_q, ecuațiile (11) pot fi scrise sub formă matriceală : :

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & -\omega L' \\ \omega L' & R \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{ed} \\ u_{eq} \end{bmatrix}. \tag{14}$$

Pe de altă parte, ecuațiile (5) ale circuitelor rotorice echivalente în care $u'_d = u'_q = 0$, după înlocuirea curenților i'_d și i'_q cu expresiile lor obținute din ecuațiile (6) devin :

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{R'}{sL_m}\,(\psi_d - Ls\cdot i'_d) + \frac{d\psi'_d}{dt}\cdot\frac{1}{s}\,\omega'\psi'_q \\ 0 &= \frac{R'}{s\cdot L_m}\,(\psi_q - L_s\cdot i_q) + \frac{d\psi'_q}{dt}\cdot\frac{1}{s} + \omega\cdot\psi'_d \end{aligned} \tag{15}$$

Înlocuind fluxurile ψ_d și ψ_q cu expresiile :

$$\psi_d = \frac{1}{\omega}\,(u_q - R\cdot i_q)\,;\; \psi_q = \frac{1}{\omega}\,(R\cdot i_d - u_d) \tag{16}$$

obținute din ecuațiile (4) și fluxurile ψ'_d și ψ'_q, conform relațiilor (13), ecuațiile (15) după rearanjare devin :

$$\begin{aligned} T'_{do}\,\frac{du_{ed}}{dt} &= s\;T'_{d0}\,u_{eq} - u_{ed} - \omega\,\frac{L_m^2}{L_r}\,i_q\,; \\ T'_{do}\,\frac{du}{dt} &= s\,\omega\,T'_{d0}\,u_{ed} - u_{eq} + \omega\,\frac{L_m^2}{L_r}\,i_d \end{aligned} \tag{17}$$

Explicitînd curenții i_d și i_q din ecuațiile (14), rezultă :

$$i_d = (u_d - u_{ed})\,G_m + (u_q - u_{eq})\,B_m,$$
$$i_q = (u_q - u_{eq})\,G_m - (u_d - u_{ed})\,B_m, \tag{18}$$

unde pentru simplificare s-au introdus notațiile :

$$G_m = \frac{R}{R^2 + (\omega L')^2}\,;\quad B_m = \frac{\omega L'}{R^2 + (\omega L')^2}\cdot \tag{19}$$

Înlocuind componentele u_d și u_q ale tensiunii la borne cu expresiile :

$$u_d = u\cdot\cos\,\delta\,;\quad u_q = u\cdot sin\,\delta, \tag{20}$$

conform figurii 2, și introducînd expresiile (18) ale componentelor curentului statoric în ecuațiile (17) și (9) completate cu ecuația (1), se obține forma finală a sistemului de ecuații diferențiale de stare ale motorului de inducție :

$$T'_{do}\frac{du_{ed}}{dt} = -\,u_{ed}\,[\omega L B_m + 1] + u_{eq}\,[T'_{do}\,s\cdot\omega + \omega L G_m] - \omega L u(G_m\,sin\,\delta - B_m\,cos\,\delta),$$

$$T'_{do}\frac{du_{eq}}{dt} = -u_{ed}\,[T'_{do}\,s\omega + \omega L G_m] - u_{eq}[\omega L B_m + 1] + \omega L u(G_m\cos\delta + B_m\sin\delta),$$

$$T\frac{ds}{dt} = K_m\,[\omega(1-s)]^{\beta+1} - u_{ed}\,[(u\sin\delta - u_{eq})B_m + (u\cos\delta - u_{ed})G_m] - u_{eq}[(u_{eq}\sin\delta - u_{eq})G_m - (u\cos\delta - u_{ed})B_m],$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_0, \tag{21}$$

unde pentru simplificare s-a introdus notația :

$$L = L_m^2/L_r. \tag{22}$$

Sistemul ecuațiilor de ieșire, conform modelului (1), se obține prin exprimarea puterii absorbite de motorul de inducție în funcție de mărimile de stare și de intrare. Pornind de la expresiile puterii active și reactive absorbite de motorul echivalent, în care toate mărimile se consideră prin valorile lor efective [4] :

$$P = U_d\cdot I_d + U_q\,I_q\,;\quad Q = U_q\cdot I_d - U_d\,I_q \tag{23}$$

prin înlocuirea componentelor tensiunii și curentului la borne cu expresiile lor (20) și respectiv (18) rezultă sistemul ecuațiilor de ieșire sub formă matriceală :

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = U \begin{bmatrix} \cos\delta & \sin\delta \\ \sin\delta & -\cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_m & B_m \\ -B_m & G_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U\cos\delta - U_{ed} \\ U\sin\delta - U_{eq} \end{bmatrix}, \tag{24}$$

Avîndu-se în vedere doar regimurile sinusoidale pentru mărimile electrice care intervin în sistemul (21) al ecuațiilor de stare aceste ecuații își păstrează forma și în cazul considerării mărimilor electrice prin valori efective exprimate în u.r.n. Astfel, sistemul de ecuații diferențiale (21) împreună cu ecuațiile (24) reprezintă caracteristicile dinamice ale motorului de inducție de forma generală (1) cu mărimile exprimate într-un sistem de axe de coordonate d, g comun tuturor elementelor dinSEE considerat.

4. Validarea caracteristicilor dinamice ale motorului de inducție. Concluzii

Pentru validarea caracteristicilor dinamice elaborate în paragraful 3, au fost înregistrate răspunsurile tranzitorii ale unor motoare de inducție la o perturbație treaptă de tensiune, utilizînd în acest scop un stand (fig. 3) constituit din trei motoare tip ASI de 0,75 kW și 750 rot/min,

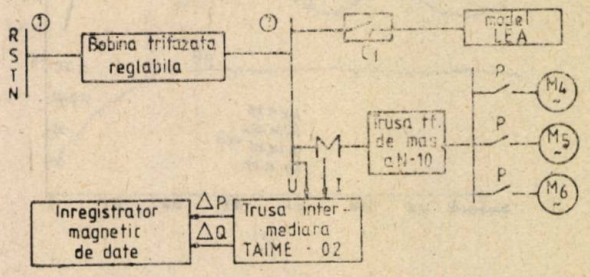


Fig. 3. Structura de principiu și schema monofilară a standului utilizat.

notate M4, M5, M8, ce acționează diverse mecanisme și echipamentul de măsură și înregistrare descris în [12]. Perturbația treaptă de tensiune s-a realizat prin conectarea unui model de linie electrică aeriană (LEA) în gol pe bara 2 de alimentare a motoarelor. Amplitudinea acestei perturbații s-a reglat prin intermediul unei bobine trifazate reglabile la circa 10% din tensiunea nominală.

Variațiile puterii active și reactive pe o durată de circa o secundă au fost înregistrate pe bandă magnetică cu viteza de rulare de 38 cm/s și apoi redate cu viteza de 9,5 cm/s pentru a fi oscilografiate pe hîrtie fotografică (figurile 5*a*, 5*c* și 5*e*).

Testele s-au efectuat separat pentru fiecare motor, selectat cu ajutorul întrerupătoarelor P1, P2 și P3. Mărimile caracteristice U_0, P_0, Q_0 la bornele motoarelor în regimul permanent anteperturbație determinate cu trusă de măsură QN10, precizate în figurile 5*a*,5*c* și 5*e* constituie totodată mărimile de referință pentru abaterile înregistrate după producerea perturbației.

Considerînd aceleași motoare de inducție reprezentate însă prin caracteristicile dinamice elaborate anterior, ecuațiile (21) și (24), și aceleași perturbații treaptă de tensiune au fost determinate răspunsurile tranzitorii și pe cale analitică. În acest scop în prealabil au fost determinați

parametrii circuitelor echivalente ale celor trei motoare (tabelul 1) prin probe de mers în gol și scurtcircuit, iar valorile mărimilor electrice caracteristice regimului permanent anteperturbație sînt prezentate în figurile 5*a*, 5*c* și 5*e*.

Tabelul 1

Parametri electrici (în u. r. n.) ai motoarelor de inducție testate

Simbol motor	R_1	R_2'	L_σ	L_{m0}	R_{FE}	T [s]	β
M4	0,15	0,25	0,35	3,66	25	2	0
M5	0,22	0,239	0,318	3,55	30	1,78	0
M8	0,22	0,3	0,31	3,13	64	0,8	2

Deoarece traductoarele de putere TPT-79 și TQT-79 utilizate în cadrul trusei TAIME-02 [12] au constante de timp comparabile cu constantele de timp mecanice T ale motorului, s-a impus considerarea și a acestor elemente de conversie în modelul matematic prin intermediul unor ecuații diferențiale de ordinul întîi, conform figurii 4.

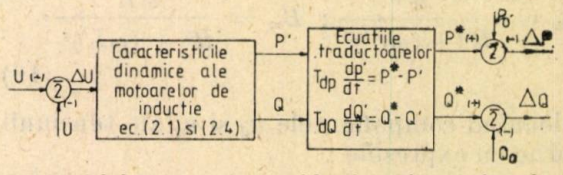
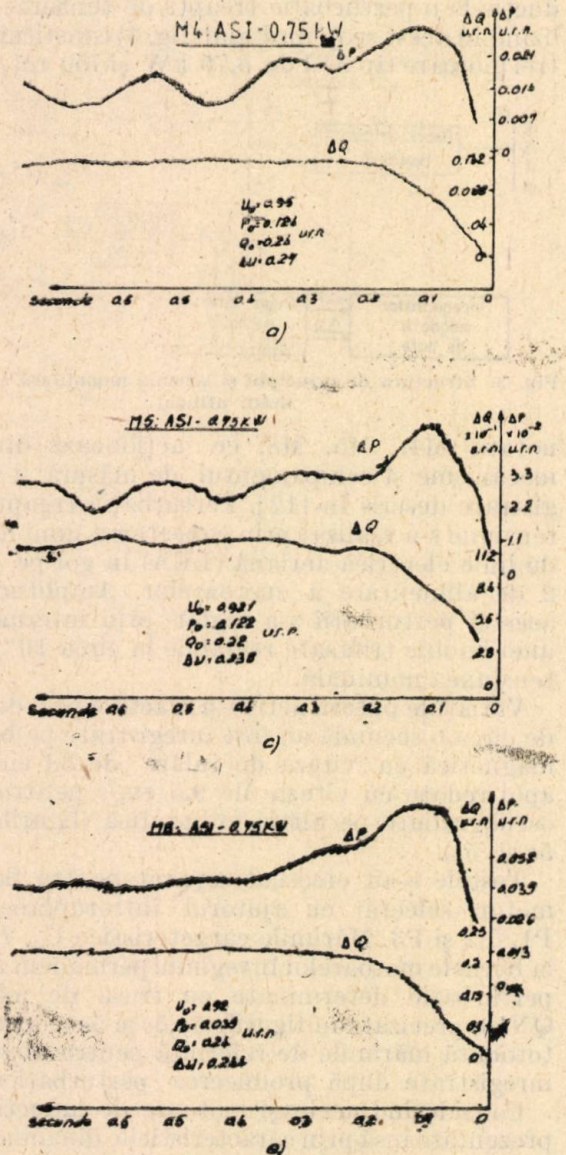


Fig. 4. Modelul matematic considerat pentru motoarele de inducție și elementele de conversie.



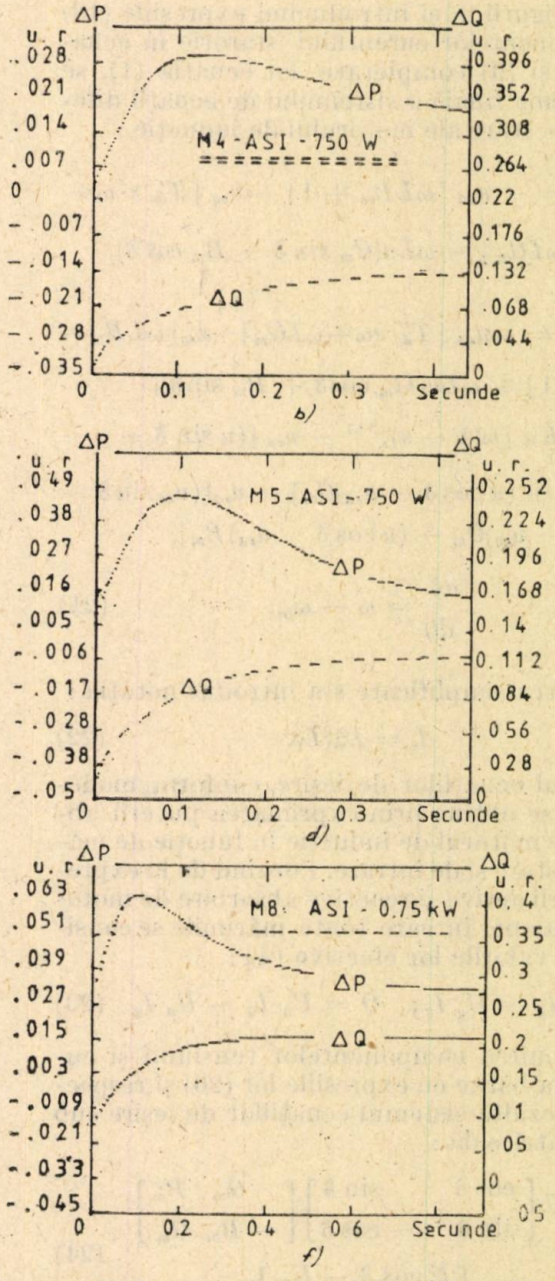


Fig. 5. Răspunsurile tranzitorii la perturbație treaptă de tensiune U ale motoarelor de inducție: M4 (a, b); M5 (c, d) și M8 (e, f) determinate experimental (a, c, e) și analitic (b, d, f).

Răspunsurile tranzitorii obținute prin rezolvarea modelului matematic al motoarelor de inducție reprezentate prin caracteristicile lor dinamice (ecuațiile (21) și (24) împreună cu elemente de conversie, pentru aceleași regimuri permanente anteperturbație și aceleași perturbații treaptă de tensiune ca și motoarele fizice testate experimental, sînt prezentate în figurile 5*b*, 5*d* și 5*f*.

Oscilațiile de joasă frecvență înregistrate în cazul motoarelor M4 și M5, suprapuse peste curbele de bază ale abaterii ΔP a puterii active absorbite (fig. 5*a* și 5*c*) sînt cauzate de variații periodice ale cuplului mecanic rezistent datorate acționărilor mecanice prin lanț de transmisie și reductoare de turație. Aceste variații nefiind considerate în ecuațiile de mișcare ale rotoarelor au condus, în cazul motoarelor M4 și M5, la abateri ceva mai mari între răspunsurile determinate experimental și analitic.

Analiză comparativă a răspunsurilor tranzitorii ale celor trei motoare de inducție testate experimental și analitic prin rezolvarea modelelor lor matematice de forma (21) și (24), considerînd aceleași regimuri anteperturbație și aceleași perturbații, evidențiază o comportare similară în regim tranzitoriu a motoarelor reale și a modelelor lor matematice.

În concluzie, reprezentarea motoarelor de inducție cu rotor în scurtcircuit, inclusiv a celor de puteri mici, prin caracteristicile dinamice, elaborate în cadrul lucrării, conduce la comportări similare în regimuri dinamice și tranzitorii cu cele ale motoarelor reale. Aceasta permite reprezentarea unor consumatori complecși, în special de tip industrial, în care ponderea motoarelor de inducție este considerabilă, prin caracteristicile dinamice elaborate, presupunînd cunoscuți parametrii circuitului echivalent al consumatorului complex, admis ca fiind format dintr-un motor de inducție și un consumator static echivalent.

ANEXA

Lista semnificațiilor principalelor notații utilizate

R_1, R'_2, L_σ, L_m, R_{Fe} — parametrii cricuitului electric echivalent al motorului real;

R, R' — rezistențele înfășurărilor statorică, respectiv rotorică, ale mașinii echivalente considerate identice pe axele d și q;

L_s, L_r — inductanțele sincrone „văzute" din stator, respectiv rotor;

L' — inductanța tranzitorie „văzută" de la borne (rotor blocat);

G_m B_m — componentele admitanței schemei echivalente a motorului definite conform relațiilor (19);

c_s — exponent ce caracterizează saturația inductanței de magnetizare;

K_m, β — parametrii caracteristicii cuplu-turație ai mecanismului antrenat;

T'_{do} — constanta de timp electromagnetică a circuitului rotoric deschis;

T — constanta de timp mecanică a rotorului motorului și mecanismului antrenat;

T_{dP}, T_{dQ} — constantele de timp ale traductoarelor de putere activă, respectiv reactivă;

u_d, u_q, i_d, i_q — componentele tensiunii și curentului statoric pe axele d, q;

u'_d, u'_q, i_d, i'_q — componentele tensiunii și curentului rotoric pe axele d, q;

u_{ed}, u_{eq} — componentele t.e.m. proporționale cu înlănțuirea magnetică a rotorului pe axele d, q;

P, Q — puterile activă, respectiv reactivă absorbite de motor;

U — tensiunea la bornele motorului;

s — alunecarea rotorului față de cîmpul magnetic statoric;

δ — unghiul de poziție al fazorului $\underline{U}$ al tensiunii la borne față de axa d;

ω_0 — viteza unghiulară a sistemului de axe de coordonate d, q;

ω — pulsația (frecvența) tensiunii la bornele motorului;

ω' — viteza unghiulară.

Bibliografie

[1] Bernas, S., Țioc, Z. *Matematiceskie modeli elementov electroenergheticeskih sistem*. Energoizdat, Moskva, 1982.

[2] Concordia, C., Ihara, S. *Load Representation in Power System Stability Studies*. In: PAS-101, nr. 4, 1982, p. 969—977.

[3] Cathey, J. J., Calvi, R., Ayoub, A. K. *Transient Load Model of Induction Motor*. In: PAS-92, nr. 4, 1973 p. 1399—1406.

[4] Dordea, T. *Mașini electrice*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1977.

[5] Gunaratman, N., Novotny, D. W. *The Effects of Neglecting Stator Transients in Induction Machine Modeling*. In: PAS-99, nr. 6, 1980, p. 2050—2059.

[6] Hakim, A. M. M., Berg, G. J. *Dynamic Single Unit Representation of Induction Motor Groups*. In: PAS-95, nr. 1, 1976, p. 155—164.

[7] Hore, R. A. *Metode moderne de calcul și proiectare a sistemelor electrice*. Ed. Tehnică, București, 1970.

[8] Iliceto, F., Capasso, A. *Dynamic Equivalents of Asynchrounous Motor Loads in System Stability Studies*. In: PAS-93, nr. 5, 1974, p. 1650—1660.

[9] Iliceto, F., Ceyhan, A., Ruckstuhl, G. *Behavior of Loads During Voltage Dips Encountered in Stability Studies. Field and Laboratory Tests*. In: PAS-91, nr. 6, 1972, p. 2470—2479.

[10] Ionescu, S., Ungureanu, B. *Studiul regimurilor dinamice ale motoarelor asincrone*. In: Energetica, nr. 10, 1969, p. 473—478.

[11] Krause, P. C., Thomas, C. H. *Simulation of Symmetrical Inductio Machiner*. In: PAS-84, nr. 5, 1965, p. 1038—1053.

[12] Moga, M., Buta, A., Ivașcu, C., Milea, L. *Determinarea experimentală a caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși*. In: Energetica, nr. 2, 1988, p. 56—62.

[13] Novac, I. ș. a. *Mașini și acționări electrice*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.

[14] Potolea, E. *Calculul regimului permanent al sistemelor electrice*. Ed. Tehnică, București, 1977.

[15] Rogres, G. J. *Liniarised Analysis of Induction Motor Transients*. In: Proc. IEE, vol. 112, nr. 10, 1965, p. 1917—1926.

[16] Sastry, K. P. R., Buridge, R. E. *Investigation of a Reduced Order Model for Induction Motor Dynamic Studies*. In: PAS-95, nr. 3, 1976, p. 962—969.

[17] Stern, R., Novotny, D. W. *A Simplified Approach to Determination of Induction Machine Dynamic Response*. In: PAS-97, nr. 4, 1978, p. 1430—1439.

[18] Venikov, V. A. *Transient Processes in Electrical Power Systems*. Mir Publishers, 1977.

[19] Moga, M., Buta, A., Dăneasa, D. *Determinarea parametrilor electrici ai circuitului echivalent al motorului de inducție cu rotor în scurtcircuit pe baza datelor de catalog*. În: Energetica, 36, nr. 2, 1988, p. 56—61

(Primit la 9 martie 1989, acceptat la 21 iunie 1990

Frecvența, parametru de calitate al regimurilor sigure și economice de funcționare a SEN

Dr. ing. HARALAMBIE CRISTEA *

Descriptori: sisteme electroenergetice, regimuri optime

Sistemul electroenergetic național privit ca un tot unitar și instalațiile componente ale acestuia sînt concepute, proiectate și realizate să funcționeze sigur și economic la frecvența normată de 50 Hz. Din informațiile ce le avem, în toate sistemele energetice din lume menținerea frecvenței în jurul valorii normate se urmărește foarte riguros, din motive de siguranță și economicitate. Din nefericire, SEN a traversat o perioadă destul de mare funcționînd cu o frecvență deosebit de scăzută, cu consecințe dintre cele mai grave din punct de vedere tehnic și economic.

În prima parte lucrarea prezintă caracteristicile frecvență-putere ale SEN determinate experimental.

În continuare, avînd la bază lucrări efectuate în ICEMENERG, sintetizează, aprofundează și evaluează efectele tehnico-economice nedorite provocate de regimul impus de funcționare a SEN cu frecvența deosebit de scăzută.

The national power systems regarded as a unitary whole and its component set-ups are so conceived, designed and realized that they can operate safely and economically at the standard frequency of 50 Hz. From the information we have from all the power systems all over the world, frequency keeping around the standard value is strictly watched for reasons of safety and savings. Unfortunately, the national power system has passed through a relatively long period with an extremely low frequency, the consequences being very serious from the technical and economic point of view.

The first part of the paper relates on the experimentally determined characteristics of frequency-power of the national power system.

Further on, starting from some works carried out in ICEMENERG, the author synthesizes, goes deeply into and evaluates the undesirable technical-economic effects of the operating regime imposed on the national power system with an extremely low frequency.

Introducere

Prezenta lucrare încearcă să aprofundeze, pe baza unor cercetări experimentale și bibliografice mai recente, evaluarea unor efecte economice și de siguranță datorate funcționării sistemului electroenergetic la valori subnormate ale frecvenței.

Problema a făcut obiectul poziției oficiale a specialiștilor ICEMENERG, Direcției Tehnice din M.E.E. și concretizate într-un raport întocmit și înaintat organelor superioare de decizie ale regimului dictatorial în anul 1986**.

Lucrarea nu abordează daunele materiale și sociale provocate economiei naționale de întreruperile alimentării cu energie electrică a consumatorilor, domeniu ce ar putea face obiectul unei analize aparte.

Potrivit normativelor, prescripțiilor și reglementărilor de exploatare, aliniate la practica internațională, SEN în ansamblu și instalațiile componente pe întreg lanțul, producere-transport-distribuție-consum de energie electrică este conceput, proiectat și realizat să funcționeze la frecvența normată de 50 Hz, cu abateri admisibile de $\pm$ 0,5 Hz.

Facem precizarea de la început că menținerea frecvenței de funcționare în jurul valorii normate cu abaterile admisibile nu poate fi realizată fără rezerva de putere de reglaj în SEN apreciată la valoarea de 500 MW (pct. 1.2).

Din calculele de regim efectuate (de exemplu pentru anul 1986) un deficit brusc de putere de 525 MW în SEN apărut la frecvența de 47,5Hz duce la pierderea stabilității sistemului, deși automatica DASf deconectează 870 MW (11% din consum), situație care nu s-ar crea de exemplu prin funcționarea SEN cu frecvența de 49,5 Hz**.

Altfel spus funcționarea SEN cu frecvență deosebit de scăzută (47 Hz) și fără rezervă de putere duce la înrăutățirea stabilității funcționării și imunității acestuia la perturbații. Orice scenariu conceput pentru calculele pe model al stabilității statice și tranzitorii confirmă cele menționate mai sus.

În scopul înțelegerii și evaluării corecte a efectelor funcționării SEN cu frecvență redusă ca parametru de calitate al regimurilor, au fost determinate, prin probe și măsurători, caracteristicile de frecvență ale sarcinii complexe și a producției de energie electrică în centrale funcționînd pe cărbune. Aceste probe au fost efectuate de ICEMENERG-LSE cu ocazia unor etape de punere în funcțiune a sistemului de 750 kV U.R.S.S. (Ucraina de Sud) — România (Isaccea) — Bulgaria (Varna), cînd s-a putut beneficia de delimitarea unor zone din SEN cu funcționare insulară cu variații ale frecvenței cuprinse între 48—50 Hz.

* Dr. ing. Haralambie Cristea — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București

** *Influența funcționării Sistemului Energetic Național în condiții de deficit de putere și frecvență redusă, asupra siguranței și economicității sistemului și elementelor sale, inclusiv asupra consumatorilor.* Sinteză, comandă internă nr. 68.203/1986

1. Caracteristicile globale de frecvență producție-consum în SEN

Probele și măsurătorile s-au făcut pe o zonă caracteristică din sistemul românesc, fără surse, cu o sarcină mixtă de circa 400 MW. Ponderea consumului de natură asincronă a fost de aproximativ 62%.

Mărimile de regim considerate în calcul, măsurate și înregistrate la probe au fost următoarele :

P_G — puterea totală generată ;
ΔP_G — saltul de putere generată ;
P_c — puterea de consum ;
ΔP_c — saltul de putere de consum ;
f — frecvența de funcționare ;
Δf — abaterea de frecvență provocată de saltul de putere.

1.1. Coeficientul global de autoreglaj al sarcinii

Relația de calcul al acestuia în funcție de mărimile de regim are expresia :

$$K_S = \frac{\Delta P_c / P_c}{\Delta f / f} \text{ (u.r.).} \qquad (1)$$

Din probele efectuate a rezultat :

$$K_S = 1{,}45 + 1{,}7 \text{ (u.r).} \qquad (2)$$

Prin extrapolarea rezultatelor obținute la nivel SEN, adoptîndu-se o valoare medie a coeficientului de autoreglaj al sarcinii ($K_S = 1{,}57$) s-a calculat variația puterii absorbite în funcție de frecvență, conform relației :

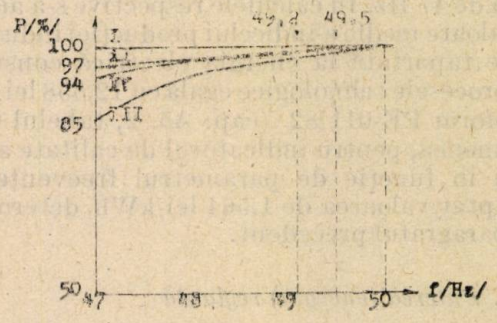
$$\Delta P_c = K_{ss} \cdot \Delta f / f \cdot P_c = 1{,}57 \cdot \frac{1}{49}, 10.000 = \\ = 320 \text{ MW/Hz.} \qquad (3)$$

Caracteristica statică de frecvență a sarcinii fiind considerată liniară în domeniul 47-50 Hz și interpretînd relația (2) rezultă că o scădere a frecvenței de 3 Hz față de valoarea normată de funcționare (50 Hz) determină o reducere a puterii absorbite în SEN cu aproximativ 2,5 × × 320 MW = 800 MW.

Subliniem că această reducere a puterii absorbite în SEN ca efect al scăderii frecvenței (efect reglant al sarcinii) se menține pe durată limitată de timp și are ca efect micșorarea corespunzătoare a cuplului util, așa cum se poate constata din figura 1.

Deoarece productivitatea mecanismelor antrenate scade, în timp se întreprind cu certitudine măsuri de exploatare care conduc la creșterea puterii absorbite pînă la nivelul cerințelor de productivitate. Aceste măsuri conduc la înrăutățirea randamentelor și în final la consumuri suplimentare de energie electrică.

Pentru estimarea daunelor provocate de efectele negative cumulate la consumatorii industriali, s-au folosit două surse de informații : una sovietică și alta franceză.



CATEGORII DE CONSUM	ESTIMAT mild. kWh/an
Cemax rezistiv (I)	25
Mașini unelte (II)	4
Ventil., Pompe (III)	26
Compresoare (IV)	18

Fig. 1. Variația puterii absorbite de diferite categorii de consumatori în funcție de frecvența SEN.

Pentru funcționarea de durată la frecvență scăzută, ambele surse indică relația :

$$D_{an}(f) = d(f) \cdot E_{an}, \qquad (4)$$

în care :

$d(f)$ este dauna specifică la frecvența f, în lei/kWh ;
E_{an} — consumul anual de energie electrică în industrie, în mild. kWh ;
$D_{an}(f)$ — dauna anuală, în mild. lei.

Pentru daunele specifice, sursa sovietică [3] indică următoarele valori (transformate în lei), luînd ca referință frecvența de 50 Hz și raportul valutar de 6,8 lei/rublă [2].

f [Hz]	50	49,5	49,0	48,5	48,0	47,5	47,0
Dauna specifică [ruble/kWh]	0	0,02	0,03	0,13	0,16	0,22	0,25
Dauna specifică [lei/kWh]	0	0,136	0,204	0,884	1,088	1,196	1,70

Dauna specifică astfel determinată reflectă aspectul economic nedorit al calității energiei electrice consumate în industrie după parametrul frecvență. Din tabelul prezentat mai sus, rezultă că la funcționarea SEN cu frecvența de 47 Hz, în raport cu valoarea de 49,5 Hz, dauna spe-

cifică este de 1,564 lei/kWh (0,25 — 0,02 = = 0,23 ruble/kWh ; 0,23 . 6,8 = 1,564 lei/kWh).

În continuare s-au calculat efectele economice defalcate pe principalele ramuri industriale, care exprimă creşterea eficienţei economice a utilizării în industrie a aceleiaşi cantităţi de energie electrică livrată la frecvenţa de 49,5 Hz faţă de 47 Hz. În calculele respective s-a adoptat o valoare medie a indicelui producţiei industriale nete raportată la energia electrică consumată în procesele tehnologice egală cu 12,558 lei/kWh, conform PE-011/82 (cap. A5. 2, tabelul 6). De asemenea, pentru indicatorul de calitate a energiei în funcţie de parametrul frecvenţei s-a adaptat valoarea de 1,564 lei/kWh, determinată la paragraful precedent.

1.2. Puterea (energia) reglantă

Pentru a se face trecerea sistemului energetic de la un regim stabilizat la o frecvenţă dată f_1 la alt regim stabilizat la o frecvenţă f_2 ($f_2 > f_1$) este necesară o energie suplimentară faţă de regimul iniţial echilibrat pentru a învinge inerţia maselor în rotaţie din SEN. Acest regim tranzitoriu este caracterizat de un indicator „timp de lansare".

Expresia timpului de lansare determinată în funcţie de mărimile de regim are structura :

$$T_s = \frac{\Delta P_{GN}/P_G}{\Delta f/\Delta t} \text{ [s]}. \qquad (5)$$

În funcţie de valoarea timpului de lansare determinat prin probe s-a calculat puterea reglantă cu ajutorul expresiei (3).

$$\Delta P_G = P_{GN} \cdot \Delta t/\Delta f \cdot T \text{ [MW/Hz]}. \qquad (6)$$

Au fost obţinute următoarele rezultate :

— timpul de lansare al SEN, $T_s = 17$s ;

— puterea reglantă a SEN, $\Delta P_{GN} = 1200$ MW/Hz.

Deci 1200 MW reprezintă valoarea puterii disponibile în SEN pentru ridicarea frecvenţei cu 1 Hz în decurs de 17 s, considerînd că sarcina rămîne constantă.

Valoarea energiei reglante deci este dată de relaţia :

$$E_r = \frac{T_s}{3600} \cdot \Delta P_G \text{ [MWh/Hz]}. \qquad (7)$$

Interpretînd relaţia (5) rezultă că pentru menţinerea unei funcţionări stabile în SEN la un salt de frecvenţă care să nu depăşească 0,5 Hz (valoarea maximă admisibilă) este necesară o putere minimă calculată prin expresia :

$$\frac{1/2\, E_r}{T_s/3600} = \Delta P_G/2 = 600 \text{ MW}. \qquad (8)$$

Luîndu-se în considerare şi efectul reglant al sarcinii de 320 MW/Hz rezultă o putere reglantă minimă necesară de aproximativ 600 — 160 = = 440 MW (rotund 500 MW).

Deci puterea totală în rezervă turnantă pe total SEN de 500 MW asigură securitatea funcţionării acestuia şi continuitatea alimentării consumatorilor în regimuri perturbate, cu condiţia existenţei reglajului clasic la turbine.

2. Parametrii tehnico-economici afectaţi din centralele electrice pe cărbune

2.1. Caracteristicile de frecvenţă ale producţiei de energie electrică

În conformitate cu probele efectuate scăderea producţiei centralelor electrice pe cărbune la frecvenţa redusă de 47 Hz este de aproximativ 4,8%[1].

Aceleaşi date cu aproximaţie sînt citate şi în literatura de specialitate [1].

Aceasta înseamnă că la o putere medie în centralele pe cărbune de aproximativ 3000 MW frecvenţa redusă de 47 Hz faţă de cea normată de 49,5 cu care ar trebui să funcţioneze SEN duce la o reducere a puterii cu aproximativ :

$$2{,}5 \times 3000 \times 4{,}8 = 360 \text{ MW}.$$

2.2. Creşterea consumului specific de combustibil la funcţionarea cu frecvenţă redusă

Din probe, măsurători şi calcule efectuate în ICEMENERG [1] rezultă că la funcţionarea SEN cu frecvenţă redusă consumul specific în centralele pe cărbune creşte pentru aceeaşi putere produsă la borne cu aproximativ 0,3%/Hz în centralele de condensaţie şi 0,9% Hz în centralele de termoficare. Luîndu-se o valoare medie rezultă o creştere a consumului specific de 0,6% Hz, respectiv $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ kgc.c./kWh/Hz.

La funcţionarea cu frecvenţa de 47 Hz faţă de valoarea normată de 49,5 Hz creşterea consumului specific considerată ca variaţie liniarizată are valoarea de aproximativ :

$$2{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}5 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ kgc.c./kWh}.$$

Valoarea determinată se apropie de datele din literatura de specialitate [1].

Considerînd timpul de utilizare a puterii maxime de 8000 ore la putere medie de 3000 MW în centralele pe cărbune se obţine :

$$C = 3000 \cdot 10^3 \cdot 8000 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 144\,000 \text{ tc.c./an}. \qquad (9)$$

3. Bilanţul de puteri în SEN

Prin funcţionarea SEN cu frecvenţă deosebit de redusă, 47 Hz faţă de cea normată 50 $\pm$ $\pm$0,5 Hz, cîştigul de putere care se menţine pe durata scurtă este după cum urmează :

$$800 - 360 = 440 \text{ rotund } 450 \text{ MW}. \qquad (10)$$

Acest cîştig de putere se evidenţiază numai pentru cazul în care nu se intervine în procesul tehnologic din industrie cînd înregistrează scăderi ale productivităţii mecanismelor. În regim de lungă durată consumatorul acţionează sigur în sensul creşterii puterii absorbite pentru compensarea scăderii productivităţii mecanismelor.

Aşa cum s-a menţionat efectul reglant al sarcinii reprezintă o caracteristică doar în regim de tranziţie. În regim de durată acest efect este anulat prin măsuri de exploatare, avînd ca urmare scăderea randamentelor, prin pornirea rezervelor de agregate sau suprasolicitarea celor existente în funcţiune.

4. Creşterea pierderilor în fier la generatoare

Pierderile suplimentare în fier sînt datorate creşterii inducţiei necesară pentru menţinerea tensiunii constante la bornele generatorului dată de relaţii :

$$E = 4{,}44 \cdot f \cdot W k_i \cdot \Phi, \qquad (11)$$

în care :

E este tensiunea electromotoare ;
k_i — coeficientul de înfăşurare ;
W — numărul de spire ;
Ø — fluxul magnetic.

Expresia pierderilor este :

$$P = k_d \, P_c \cdot G \cdot 10^{-3}, \qquad (12)$$

în care : $$P_c = k \cdot \left(\frac{B_f}{10.000} \right)^2 (f/50)^{1,2}. \qquad (13)$$

Din relaţie rezultă că pentru menţinerea tensiunii la bornele generatorului în condiţiile reducerii frecvenţei trebuie să crească inducţia corespunzător pierderilor în fier, care sînt proporţionale cu pătratul inducţiei. Se poate uşor demonstra deci că în condiţiile funcţionării cu frecvenţă scăzută pierderile în fier la generator cu pondere mare în rotor cresc.

Concluzii

1. Considerentele tehnico-economice expuse mai sus, precum şi anexele grafice ce se descriu în continuare pledează pentru evitarea funcţionării SEN cu frecvenţă subnormată.

Se poate observa din graficul valorilor medii ale frecvenţei izolarea SEN de sistemele vecine şi că din anul 1981 a început coborîrea treptată a frecvenţei de funcţionare a SEN sub valoarea normată (fig. 2)

2. Funcţionarea SEN cu frecvenţă deosebit de scăzută (47 Hz) a condus la reducerea eficienţei acţiunii automaticilor de sistem pînă la anularea acestora. Se exemplifică prin restrîngerea domeniului de reglare a automaticii de DASf ca ultimă măsură de salvare a sistemului de la destrămare în cazul unei perturbaţii grave (fig. 3).

Frecvenţa joasă şi domeniul îngust al acesteia de organizare a DASf făcea ca SEN să fie foarte vulnerabil la perturbaţii, predispus spre destrămare. Comparaţia din figura 3 cu modul de organizare a automaticii DASf din alte ţări atestă cele menţionate mai sus.

Faptul că sistemul nu a suferit avarii grave s-a datorat pregătirii deosebite a personalului DEC la toate nivelurile şi în dauna economicităţii funcţionării acestuia.

3. Încălcarea flagrantă a recomandărilor privind frecvenţele limită inferioare de funcţionare a turbinelor (fig. 4) a produs mare îngrijorare în

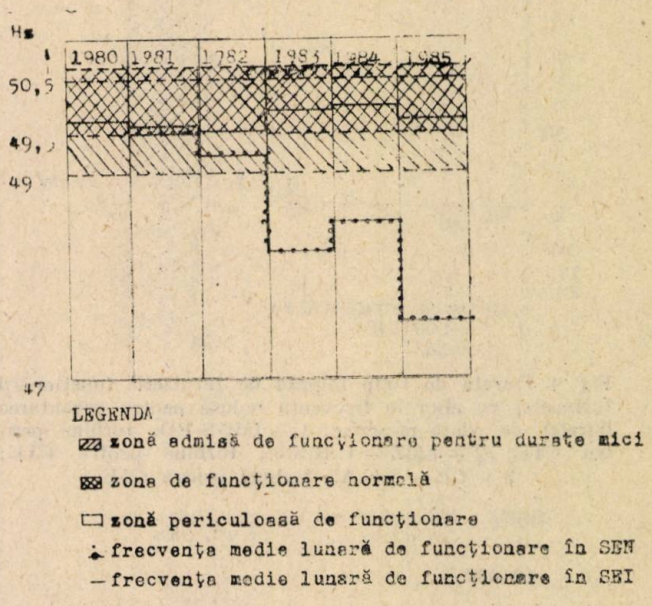


Fig. 2. Evoluţia frecvenţei medii anuale în Sistemul Energetic Naţional şi în SEI în perioada 1980—1985.

rîndul specialiştilor care se întrebau dacă turbinele grupurilor mai sînt în stare să funcţioneze la frecvenţa normată.

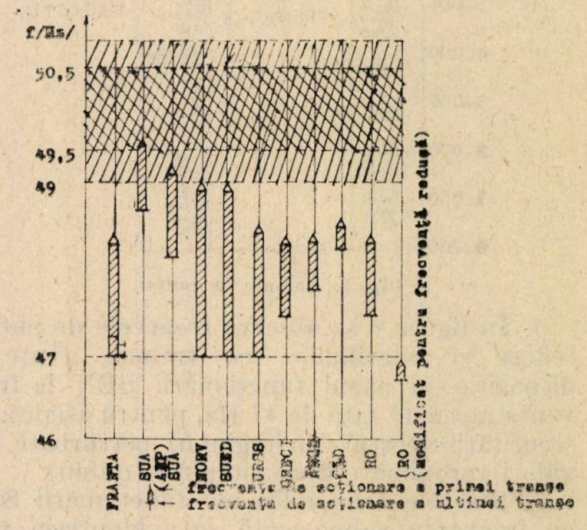


Fig. 3. Organizarea descărcării automate de sarcină (DASf) la scăderea frecvenţei în diferite sisteme energetice.

4. Figura 5 oferă o imagine a posibilității închiderii balanței de puteri producție — consum la frecvență normată comparativ cu frecvența de 47 Hz în condițiile energetice la acea etapă.

Se observă foarte clar că diferența constă numai în asigurarea acelei rezerve de putere de 440 MW ce trebuia preluată astăzi numai pe hidrocarburi.

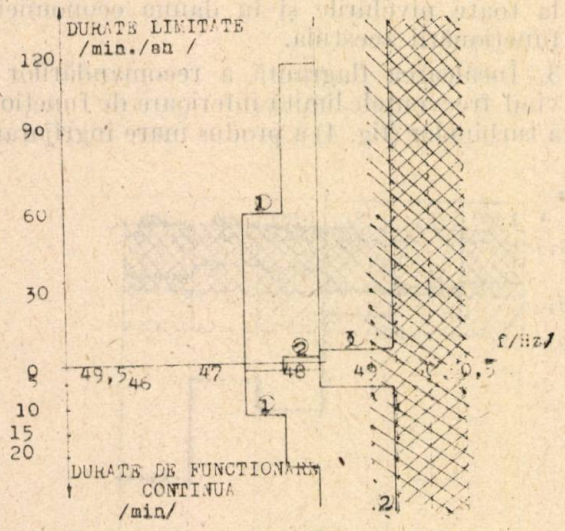


Fig. 4. Durata de timp impusă de furnizorii funcționării turbinelor cu abur la frecvența redusă pentru garantarea duratei de viață prescrise: 1 — IMGB-RO, turbine pentru CTE; 2 — LMZ — U.R.S.S., turbine pentru CTE; 3 — GE — S.U.A., turbine pentru CTE.

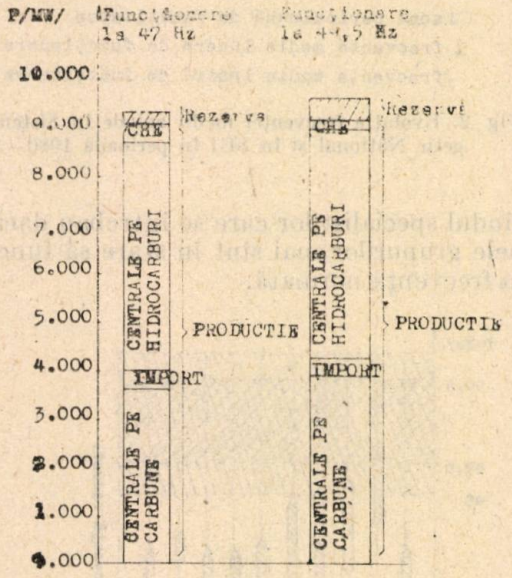


Fig. 5. Balanțe de puteri.

5. În figura 6 se observă rezervele de putere reduse și sacrificiile ce trebuie avute la dispoziție în cazul funcționării SEN la frecvența normată față de 47 Hz, pentru asigurarea securității acestuia în regimuri perturbate (cu valori aproximate de la simplu la dublu).

6. Efectele economice ale funcționării SEN cu frecvența subnormată se evidențiază prin scăderea productivității la consumatorii indus-

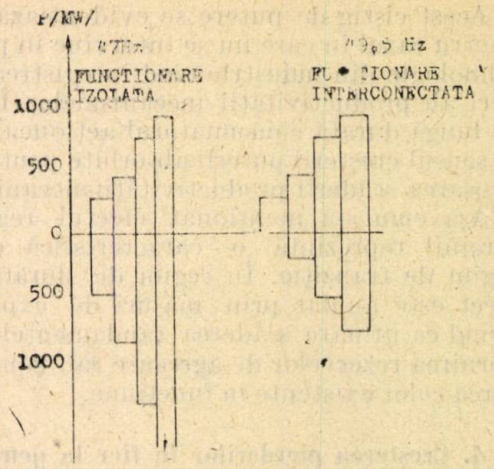


Fig. 6. Influența frecvenței de funcționare asupra posibilităților de lichidare a avariilor datorate deficitului brusc de putere.

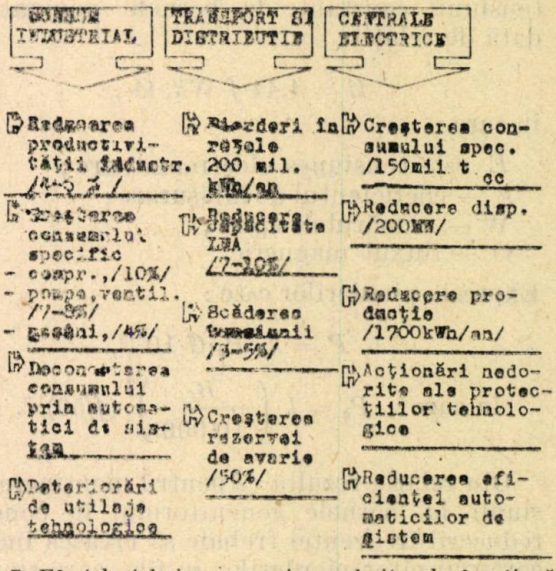


Fig. 7. Efectele tehnico-economice nedorite ale funcționării SEN cu frecvență deosebit de scăzută (47 Hz), comparat cu funcționarea la frecvență normală.

triali, creșterea consumurilor proprii tehnologice în transportul și distribuția energiei electrice și a consumurilor specifice de combustibil în centralele electrice. Evaluarea acestora, folosind datele de balanță producție-consum de energie electrică din anul 1986, este prezentată sub o formă sugestivă în figura 7.

Bibliografie

[1] Artinghina, I.M., Okorokov, V.P. *Metode și tehnici de analiză economică în energetică.* Editura „NAUKA", Leningrad, 1988.

[2] Kepommăscii, V.A. *Considerarea fiabilității la proiectarea sistemelor energetice „Daune în economie la frecvența sub cea nominală".* Editura Energiia, Moscova, 1978.

[3] M.E.E. *PE-011/82. Normativ privind calculele comparative tehnico-economice la instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice.* ICEMENERG, București, 1982.

(Primit la 3 februarie 1990, acceptat la 14 mai 1990)

Model al mașinii sincrone pentru simularea regimurilor dinamice în sisteme electroenergetice de mari dimensiuni

Dr. ing. SEBASTIAN IONESCU *

Descriptori: mașini sincrone, regimuri dinamice sisteme electroenergetice

În lucrare se prezintă un model matematic al mașinii sincrone pentru simularea regimurilor dinamice în sisteme energetice de mari dimensiuni, care conduce la rezultate avînd o bună precizie într-un timp acceptabil de calcul.

Modelul, exprimat sub forma unui sistem de ecuații diferențiale neliniare de ordinul 1 care definesc tensiunile electromotoare tranzitorii și supratranzitorii, a fost obținut printr-o descompunere adecvată a ecuațiilor operaționale ale componentelor curentului statoric în axele d și q.

The paper presents a mathematical model of the synchronous machine for the dynamic regimes simulation in large sized power systems, which assures accurate results within a rather acceptable period of time.

The model, expressed under the form of a system of the 1st order differential linear equations which define the transient and avertransient electromotive forces has been developed by the proper decomposition of the operational equations of the statoric current components to the d and q axes.

Introducere

În simularea regimurilor dinamice ale sistemelor energetice complexe (conținînd sute de generatoare interconectate prin rețele electrice cu mii de noduri) se folosesc modele matematice specifice, care permit obținerea rezultatelor cu o precizie corespunzătoare într-un timp de calcul acceptabil. Astfel, chiar programe de calcul performante executate pe calculatoare moderne, necesită timpi CPU de zeci de minute pentru simularea regimurilor dinamice pe termen lung [1] în cazul unei rețele de dimensiuni mari (circa 100 generatoare și 1000 noduri).

În general, în astfel de studii mașinile sincrone sînt modelate prin sisteme de ecuații diferențiale neliniare obținute pe baza transformării Park, în care rotorul este reprezentat prin 4 înfășurări echivalente : înfășurarea de excitație și un circuit de amortizare în axa d și două circuite echivalente de amortizare în axa q. În cadrul acestei ipoteze, în lucrare se prezintă un model matematic al mașinii sincrone în care ecuațiile diferențiale care definesc tensiunile electromotoare tranzitorii și supratranzitorii în axele d și q se obțin printr-o descompunere adecvată a ecuațiilor operaționale ale componentelor curentului statoric. Rezultă un sistem simplu de 4 ecuații diferențiale de ordinul 1, care modelează regimul tranzitoriu electromagnetic al mașinii sincrone, prezentat atît sub o formă exactă, cît și sub o formă în care se introduc unele simplificări care nu afectează sensibil precizia calculelor.

* Dr. ing. Sebastian Ionescu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

1. Ecuațiile operaționale ale componentelor I_d și I_q ale curentului statoric

Folosind notațiile cunoscute [2, 3] se consideră următoarea formă operațională a ecuațiilor mașinii sincrone :

$$\left.\begin{aligned} V_d &\cong -\omega\cdot\psi_q \\ V_q &\cong \omega\cdot\psi_d \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

$$\left.\begin{aligned} \psi_d &= G(p)\cdot V_f - L_d(p)\cdot I_d \\ \psi_q &= -L_q(p)\cdot I_q \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

în care :

$$G(p) = \frac{M_{af}}{R_f}\cdot\frac{1+pT_D}{(1+pT'_{do})(1+pT''_{do})} \tag{3}$$

$$L_d(p) = L_d\frac{(1+pT'_d)(1+pT''_d)}{(1+p\,T'_{do})(1+p\,T''_{do})} \tag{4}$$

$$L_q(p) = L_q\cdot\frac{(1+pT'_q)(1+p\,T''_q)}{(1+pT'_{q0})(1+p\,T''_{qo})} \tag{5}$$

Din relațiile anterioare se obțin următoarele ecuații operaționale ale componentelor I_d și I_q :

$$I_d = \frac{E_f}{X_d}\cdot\frac{1+pT_D}{(1+pT'_d)(1+p\,T''_d)} - \frac{V_q}{X_d}\frac{(1+pT'_{do})(1+pT''_{do})}{(1+pT'_d)(1+pT''_d)} \tag{6}$$

$$I_q = \frac{V_d}{X_q}\cdot\frac{(1+pT'_{qo})(1+pT''_{qo})}{(1+pT'_q)(1+pT''_q)} \tag{7}$$

în care :

$$E_f = \frac{\omega \cdot M_{af}}{R_f} \cdot V_f ; \; X_d = \omega L_d ; \; X_q = \omega \cdot L_q .$$

2. Ecuaţiile operaţionale în axa q

Ecuaţia (7) se descompune sub forma :

$$I_q = \frac{V_d}{X_q} \cdot \left[A_q + \frac{B_q}{1+pT''_q} + \frac{C_q}{(1+pT''_q)(1+pT'_q)} \right] \tag{8}$$

Constantele A_q, B_q şi C_q se determină prin identificarea relaţiilor (7) şi (8); rezultă următoarele condiţii :

$$\left.\begin{aligned} & A_q + B_q + C_q = 1 \\ & T'_{qo} + T''_{qo} = A_q(T'_q + T''_q) + B'_q \cdot T'_q \\ & T'_{qo} \cdot T''_{qo} = A_q \cdot T'_q \cdot T''_q \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

Din ultima relaţie din (9) se obţine :

$$A_q = \frac{T'_{qo} \cdot T''_{qo}}{T'_q \cdot T''_q} \equiv \frac{X_q}{X''_q},$$

iar din primele două relaţii din (9) rezultă :

$$B_q = \frac{1}{T'_q} \cdot \left[T'_{qo} + T''_{qo} - \frac{X_q}{X''_q}(T'_q + T''_q) \right] \tag{11}$$

$$C_q = 1 + \frac{X_q}{X''_q} \cdot \frac{T''_q}{T'_q} - \frac{T'_{qo} + T''_{qo}}{T''_q}. \tag{12}$$

Introducînd expresia lui A_q în (8) se obţine :

$$I_q = \frac{V_d}{X''_q} + \frac{V_d}{X_q} \cdot \frac{1}{1+pT''_q} \left(B_q + \frac{C_q}{1 + p\,T'_q} \right). \tag{13}$$

Se defineşte tensiunea electromotoare supratranzitorie E''_d prin relaţia :

$$E''_d = V_d - X''_q \cdot I_q \text{ sau } I_q = \frac{V_d - E''_d}{X''_q}. \tag{14}$$

Egalînd relaţiile (13) şi (14) rezultă următoarea ecuaţie operaţională pentru E''_d :

$$E''_d = -\frac{X''_q}{X_q} \cdot V_d \cdot \frac{1}{1+pT''_q} \left(B_q + \frac{C_q}{1 + pT'_q} \right). \tag{15}$$

Se defineşte de asemenea tensiunea electromotoare tranzitorie E'_d prin expresia :

$$E'_d = -\frac{1}{1+pT'_q} \cdot V_d \cdot C_q. \tag{16}$$

Ecuaţia (15) devine :

$$E''_d = -\frac{1}{1+pT''_q} \cdot \frac{X''_q}{X_q} \cdot (B_q \cdot V_d - E'_d) \tag{17}$$

Ecuaţiilor operaţionale (16) şi (17) le corespunde următorul sistem de două ecuaţii diferenţiale de ordinul 1 :

$$\left.\begin{aligned} & T'_q \cdot \frac{dE'_d}{dt} + E'_d = -C_q \cdot V_d \\ & T''_q \cdot \frac{dE''_d}{dt} + E''_d = -\frac{X''_q}{X_q}(B_q \cdot V_d - E'_d) \end{aligned}\right\} \tag{18}$$

Prin integrare numerică, pas cu pas, din (18) se obţine evoluţia în timp a mărimilor E'_d şi E''_d, care definesc comportarea maşinii sincrone în axa q.

Dacă în expresiile (11) şi (12) se neglijează anumiţi termeni nesemnificativi, se obţin pentru constantele B_q şi C_q următoarele valori aproximative :

$$B_q \cong \frac{X_q}{X''_q} \cdot \frac{X''_q - X'_q}{X'_q} \tag{11'}$$

$$C_q \cong \frac{X'_q - X_q}{X'_q} \tag{12'}$$

Cu aceste valori sistemul (18) capătă forma (18') :

$$\left.\begin{aligned} & T'_d \cdot \frac{dE'_d}{dt} + E'_d = \frac{X_q - X'_q}{X'_q} \cdot V_d \\ & T''_q \cdot \frac{dE''_d}{dt} + E''_d = \frac{X''_q}{X_q} \cdot E'_d + \frac{X'_q - X''_q}{X'_q} \cdot V_d \end{aligned}\right\} \tag{18'}$$

În regim permanent ($p \to 0$) există relaţiile :

$$E'_d = -C_q \cdot V_d,$$

$$E''_d = -\frac{X''_q}{X_q}(B_q + C_q) \cdot V_d = \frac{X_q - X''_q}{X_q} \cdot V_d,$$

în care s-a ţinut seama că :

$$B_q + C_q = 1 - A_q = 1 - \frac{X_q}{X''_q}.$$

De asemenea, în regim permanent se verifică :

$$I_q = \frac{V_d - E''_d}{X''_q} = \frac{V_d}{X''_q} - \frac{X_q - X''_q}{X_q \cdot X''_q} \cdot V_d = \frac{V_d}{X_q},$$

3. Ecuațiile operaționale în axa d

Ecuația (6) se descompune sub forma :

$$I_d = \frac{E_f}{X_d}\left[\frac{B'_d}{1+pT''_d} + \frac{C'_d}{(1+pT''_d)(1+pT'_d)}\right] - \frac{V_q}{X_d}\cdot\left[A_d + \frac{B_d}{1+pT''_d} + \frac{C_d}{(1+pT''_d)(1+pT'_d)}\right]. \tag{19}$$

Prin identificarea relațiilor (6) și (19) se obțin condițiile :

$$\left.\begin{aligned} &B'_d + C'_d = 1\,;\ T_D = B'_d \cdot T'_d \\ &A_d + B_d + C_d = 1\,;\ T'_{do} + T''_{do} = \\ &= A_d(T'_d + T''_d) + B_d \cdot T'_d \\ &T'_{do} \cdot T''_{do} = A_d \cdot T'_d \cdot T''_d \end{aligned}\right\} \tag{20}$$

din care rezultă :

$$\left.\begin{aligned} &B'_d = \frac{T_D}{T'_d} = \alpha\,;\ C'_d = 1 - \alpha \\ &A_d = \frac{T'_{do}\cdot T''_{do}}{T'_d \cdot T''_d} \equiv \frac{X_d}{X''_d} \\ &B_d = \frac{1}{T'_d}\left[T'_{do} + T''_{do} - \frac{X_d}{X''_d}(T'_d + T''_d)\right] \\ &C_d = 1 + \frac{X_d}{X''_d}\cdot\frac{T''_d}{T'_d} - \frac{T'_{do} + T''_{do}}{T'_d} \end{aligned}\right\} \tag{21}$$

Înlocuind valoarea lui A_d în ecuația (19) se obține :

$$I_d = \frac{E_f}{X_d}\cdot\frac{1}{1+pT''_d}\left(B'_d + \frac{C'_d}{1+pT'_d}\right) - \frac{V_q}{X_d}\cdot\frac{1}{1+pT''_d}\left(B_d + \frac{C_d}{1+pT'_d}\right) - \frac{V_q}{X''_d}. \tag{22}$$

Se definește tensiunea electromotoare supratranzitorie E''_q prin relația :

$$E''_q = V_q + X''_d \cdot I_d \text{ sau } I_d = \frac{E''_q - V_q}{X''_d}. \tag{23}$$

Din relațiile (22) și (23) rezultă :

$$E''_q = \frac{X''_d}{X_d}\cdot\frac{1}{1+pT''_d}\left[(B'_d\cdot E_f - B_d V_q) + \frac{1}{1+pT'_d}\cdot(C'_d\cdot E_f - C_d V_q)\right] \tag{24}$$

Se notează :

$$E'_q = \frac{1}{1+pT'_d}(C'_d\cdot E_f - C_d\cdot V_q) \tag{25}$$

și deci :

$$E''_q = \frac{1}{1+pT''_d}\cdot\frac{X''_d}{X_d}(B'_d\cdot E_f - B_d V_q + E'_q). \tag{26}$$

Ecuațiilor operaționale (25) și (26) le corespund ecuațiile diferențiale :

$$\left.\begin{aligned} &T'_d\cdot\frac{dE'_q}{dt} + E'_q = C'_d\cdot E_f - C_d V_q \\ &T''_d\cdot\frac{dE''_q}{dt} + E''_q = \frac{X''_d}{X_d}(B'_d\cdot E_f - B_d\cdot V_q + E'_q) \end{aligned}\right\} \tag{27}$$

Cu valorile :

$$B'_d = \alpha\,;\ C'_d = 1 - \alpha$$

$$B_d \cong \frac{X_d}{X''_d}\cdot\frac{X''_d - X'_d}{X'_d}\,;\ C_d \cong \frac{X'_d - X_d}{X'_d}$$

ecuațiile diferențiale (27) capătă forma :

$$\left.\begin{aligned} &T'_d\cdot\frac{dE'_q}{dt} + E'_q = (1-\alpha)\cdot E_f + \frac{X_d - X'_d}{X'_d}\cdot V_q \\ &T''_d\frac{dE''_q}{dt} + E''_q = \frac{X''_d}{X_d}(\alpha\cdot E_f + E'_q) + \\ &\qquad + \frac{X'_d - X''_d}{X'_d}\cdot V_q \end{aligned}\right\} \tag{28}$$

În regim permanent sînt valabile relațiile :

$$E'_q = (1-\alpha)\,E_f - C_d\cdot V_q$$

$$E''_q = \frac{X''_d}{X_d}(\alpha\cdot E_f - B_d V_q + E'_q)$$

din care rezultă :

$$E''_q = \frac{X''_d}{X_d}\cdot[E_f - (B_d + C_d)V_q] = \frac{X''_d}{X_d}\cdot E_f + \frac{X_d - X''_d}{X_d}\cdot V_q,$$

ținînd seama că :

$$B_d + C_d = 1 - A_d = 1 - \frac{X_d}{X''_d}\cdot$$

Se verifică de asemenea ($p \to 0$) :

$$I_d = \frac{E''_q - V_q}{X''_d} = \frac{E_f - V_q}{X_d}.$$

Concluzii

În lucrare s-a prezentat un model matematic al mașinii sincrone specific pentru calculele de regimuri dinamice în sistemele electroenergetice de dimensiuni mari.

Modelul s-a obținut pe baza unei descompuneri adecvate a expresiilor operaționale ale componentelor de curent statoric I_d și I_q.

Procedeul de calcul utilizat nu a fost întîlnit în literatura de specialitate, deși există numeroase lucrări în care se prezintă modele ale mașinii sincrone. Metoda conduce la o formă simplă a ecuațiilor diferențiale care definesc tensiunile electromotoare în axele d și q, fără a fi necesară introducerea de aproximații suplimentare în cadrul ipotezei de bază admisă inițial (valabilitatea transformării Park, cîte două circuite care se influențează reciproc în axele d și q ale rotorului).

Bibliografie

[1] *Programul de calcul EUROSTAG. Specificații tehnice.* Electricité de France, 1990

[2] Adkins, B. *The General Theory of Alternating Current Machines.* Chapman and Hall, London, 1975.

[3] Potolea, E. *Calculul regimurilor de funcționare al sistemelor electroenergetice.* Editura Tehnică, București 1977.

(Primit la 4 iunie 1990, acceptat la 27 iunie 1990)

Noutăți

Din energetica mondială

Redactorul șef al MPS dl. L. DAVID SMITH comentează ce este nou în privatizarea producției de energie electrică în UK

Multe proiecte de centrale electrice particulare erau gata pregătite cînd a venit „ziua investițiilor private" din Regatul Unit al Marii Britanii și Irlandei de Nord.

Dimensiunile centralelor proiectate au variat de la mici la mari și foarte mari ; de exemplu centrala cu ciclu combinat Teesside, cu putere nominală de 1725 MWe, a fost deschisă de Westinghouse ca fiind cea mai mare centrală de termoficare pe gaz natural din lume. Centrala Teesside va avea opt turbine cu gaz Westinghouse Mitsubischi de 169 MWe W 701 F și două turbine cu abur de 216 MWe cu echipament electric Brusch. Enron Corporation din S.U.A. o va construi și o va exploata. Cel mai important consumator pentru energie va fi ICI Chemicals and Polymers.

Cea mai mică centrală este, probabil, centrala de termoficare industrială Kidderminster pentru National-Standard Ltd. cu o putere de 4,2 MWe.

Prima dintre întreprinderile de producere a energiei electrice de curînd privatizate formal aprobate de OFFER (Oficiul de Reglementare Energetică) din 19 aprilie 1990, a fost Lakeland Power Ltd. pentru exploatarea centralei electrice cu turbine de gaz de la Roosecote, fostă CEGB. ABB va construi și va exploata centrală electrică de 200 MWe. Cel mai curios aspect al primei grupe din aceste proiecte îl reprezintă concentrarea centralelor în nord-estul și nord-vestul Angliei, unde se presupune că există un exces de capacitate, producînd chiar saturația liniilor lungi de transport de energie spre centrele de consum din sudul și sud-estul țării. Efectul va fi nu numai o taxă mare pentru folosirea sistemului de transport aparținînd de National Grid Company, ci și cheltuieli de investiție suplimentare pentru noi capacități de transport.

Lucrarea „*Utilizarea prețurilor în sistemul electroenergetic*" publicată în 1990 a avut drept scop să reflecte costul transportului energiei în rețea în diferite locuri din țară.

În general, utilizarea sistemului electroenergetic pentru o centrală electrică de 1000 MWe ar putea costa 8,5 milioane dolari pe an în cazul unor centrale situate în nordul Angliei, 1,7 milioane dolari pentru o centrală din sudul Angliei și nimic în capitală. Aceste prețuri ar putea să fie mai mult decît compensate de costul prelungirilor la conducta de gaz natural în scopul alimentării cu combustibil a centralelor cu ciclu combinat. Dar limitele capacității de transport pot influența mai greu asupra economiei centralelor din nord.

National Grid Company a publicat pe 26 aprilie 1990 „*Declarația pe șapte ani*", după cum o cere legislația privatizării. Raportul a fost întocmit pe baza prognozelor de cereri de către douăsprezece companii de distribuție din Anglia și Țara Galilor. „Are drept scop să ajute beneficiarii existenți sau potențiali ai sistemelor să aprecieze oportunitatea creșterii consumului sau a realizării de noi racorduri din sistemul electroenergetic. Țara este împărțită în unsprezece zone de tarif". În fiecare din cele patru zone sudice cel puțin 3 GW din noua centrală electrică pot fi acceptați în grupuri de pînă la 1 GW fără eventuale investiții în liniile sistemului electroenergetic.

În zona în care este amplasată centrala Teesside nu mai mult de 0,6 GW pot fi folosiți fără astfel de investiții. Deși cea mai mare parte a producției de la centrala Teesside este pentru consumul local se pare că în zona respectivă este nevoie de o capacitate de cîteva ori mai mare.

În alte zone, noile centrale cu ciclu combinat planificate de organizațiile Powergen și National Power pot să absoarbă cea mai mare parte a potențialului stabilit pentru dezvoltare.

National Grid Co. poate cu greu să susțină că „Declarația pe șapte" ani nu este un plan de afaceri. În orice caz, trebuie probabil, să ne așteptăm ca societățile de distribuție să fie adepte ale părții conservatoare în prognozele de cerere. Chiar și așa, acest lucru arată ca și cum un aspect al noilor scenarii de producere a energiei are drept scop să asigure cheltuielile pentru existența factorilor de putere scăzuți în centralele electrice.

(Din: Modern Power Systems, vol. 10, nr. 5, mai, 1990, p. 17)

Firma BRÜEL ȘI KJAER prezintă dintre noile sale realizări detectorul multigaz

Pentru supravegherea gazelor se folosește principiul spectroscopiei fotoacustice. În aplicarea acestui principiu gazul care se măsoară este iradiat cu ajutorul unui spot luminos intermitent de lungime de undă predefinită. Moleculele de gaz absorb o parte din energia luminoasă pe care o convertesc într-un semnal acustic captat de un microfon.

Metoda de măsură prin spectroscopia fotoacustică este foarte stabilă și permite detectarea unor concentrări, chiar foarte slabe, în gaz.

(Din: Technical Review, Brüel și Kjaer, nr. 1, 1990)

Influența factorilor care depind de caracteristicile combustibilului asupra intensității procesului de eroziune a suprafețelor de transfer termic ale cazanelor de abur

Dr. ing. MAGDALENA MATEI, ing. CRISTINA DICU, dr. geol. LUCIAN MATEI, ing. PĂTRA DORDEA, ing. AURORA CREȚU, ing. ALINA MANOLESCU, chim. MIHAI PRECUP*

Descriptori: cazane de abur, suprafețe de transfer, eroziuni, caracteristici combustibil

Lucrarea prezintă influența factorilor care depind de caracteristicile combustibilului — conținutul de cenușă al combustibilului și abrazivitatea cenușii — asupra intensității procesului de eroziune a suprafețelor de transfer termic ale cazanelor de abur.

Este discutată influența creșterii conținutului de cenușă al combustibilului peste valorile de proiect asupra uzurii țevilor pentru diferite situații de funcționare a cazanelor.

Este studiată corelația existentă între abrazivitatea cenușii — exprimată sub forma unui coeficient de abrazivitate determinat experimental pentru probe de cenușă rezultate prin arderea combustibililor solizi în diferite centrale termoelectrice — și alte proprietăți ale cenușii și anume dimensiunea, forma și compoziția chimico-mineralogică a particulelor.

Sînt comparate valorile maxime ale vitezei gazelor de ardere în zona economizoarelor cazanelor calculate pe baza coeficienților de abrazivitate determinați experimental cu vitezele medii ale gazelor de ardere la sarcina nominală a cazanelor în condițiile alimentării lor cu combustibil de proiect.

The paper deals with the influence of the fuel properties dependent factors — ash content and ash abradibility — on the erosion strength of the steam boiler heat-transfer surfaces.

The influence of the ash content increase of the fuel beyond the design values on the pipe wear is discussed under various operating conditions of the steam boilers.

Also studied in the paper is the existing correlation between the ash abradibility-expressed under the form of an experimentally determined abradibility coefficient for ash specimens resulted from the solid fuel combustion in different thermal power plants — and other ash properties such as the particles' size, shape and chemical-mineralogical composition.

The maximum values of the flue gas rate within the section of the boilers'economizers computed on the basis of an experimentally determined abradibility coefficients are compared with the flue gas mean rates at the boilers' rated load when the fuel is the design one.

Factori determinanți pentru intensitatea procesului de eroziune a suprafețelor de transfer termic datorită cenușii

In condițiile unei geometrii și a unei aerodinamici impuse, uzura exterioară a țevilor cazanelor datorită eroziunii provocată de cenușă — U — este determinată de viteza gazelor de ardere, respectiv a particulelor de cenușă — w, concentrația cenușii în gazele de ardere — c, abrazivitatea cenușii — a și timpul de funcționare a instalației — τ.

$$U \sim w^{3,0-3,5} \cdot c \cdot a \cdot \tau.$$

Prin urmare, intensitatea procesului de eroziune a țevilor datorită cenușii este determinată de următoarele categorii de factori:

— factori constructivi: geometria fasciculelor de țevi, forma constructivă a canalelor de gaze de ardere, materialul din care sînt confecționate țevile, geometria focarului;

— factori de funcționare: viteza gazelor de ardere, respectiv a particulelor de cenușă, concentrația cenușii în gazele de ardere, gradul de neuniformitate a cîmpurilor de viteze, gradul de neuniformitate a concentrației cenușii pe secțiunea canalului de gaze de ardere, timpul de funcționare;

— factori care depind de caracteristicile combustibilului: conținutul de cenușă al combustibilului, abrazivitatea cenușii.

În cadrul lucrării se va discuta influența acestei ultime categorii de factori asupra intensității procesului de eroziune.

Influența creșterii conținutului de cenușă a combustibilului asupra uzurii

Analiza influenței creșterii conținutului de cenușă a combustibilului față de valorile de proiect — situație constatată în ultimii ani

* Dr. ing. Magdalena Matei, ing. Pătra Dordea, ing. Aurora Crețu, ing. Alina Manolescu, chim. Mihai Precup — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, ing. Cristina Dicu — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Energetice, dr. geol. Lucian Matei — Universitatea București.

pentru o serie de centrale (CTE Mintia, UE Paroşeni, CET Oradea, CET Işalniţa) — indică următoarele :

— în cazul menţinerii debitului de abur constant şi compensării înrăutăţirii caracteristicilor cărbunelui cu creşterea debitului de combustibil solid consumat are loc o intensificare majoră a uzurii exterioare a ţevilor datorită eroziunii provocate de cenuşă, atît datorită creşterii vitezei gazelor de ardere, cît şi măririi concentraţiei cenuşii ;

— în cazul producerii aceluiaşi debit de abur, în condiţiile menţinerii constante a debitului de cărbune consumat şi suplinirii aportului de căldură cu hidrocarburi, uzura înregistrează o creştere datorită măririi concentraţiei cenuşii în gazele de ardere ;

— în cazul în care debitul de abur scade, menţinîndu-se constant debitul de cărbune consumat, uzura se reduce, datorită scăderii vitezei gazelor de ardere, care compensează şi depăşeşte efectul creşterii concentraţiei cenuşii în gazele de ardere.

Spre exemplu, în cazul înrăutăţirii calităţii combustibilului de la valorile de proiect : $Q^i_{i1} = 1750$ kcal/kg, $W^i_{t1} = 36{,}0$ %, $A^i_1 = 27{,}6$ % la caracteristicile : $Q^i_{i2} = 1460$ kcal/kg, $W^i_{t2} = 36{,}4$ % ,$A^i_2 = 31{,}1$ %, în cazul arderii lor cu un coeficient al excesului de aer $\alpha = 1{,}4$, în condiţiile unei geometrii şi a unei aerodinamici impuse, menţinînd constante durata de funcţionare a ţevilor (τ) şi coeficientul de abrazivitate a cenuşii (a), se obţin datele prezentate în tabelul 1.

2. Abrazivitatea cenuşii

Influenţa celui de-al doilea factor determinat de caracteristicile combustibilului asupra intensităţii procesului de eroziune s-a studiat prin determinarea coeficienţilor de abrazivitate a cenuşilor rezultate prin arderea combustibililor solizi în diferite centrale termoelectrice. Aceasta s-a realizat prin experimentări pe standul IPB — Facultatea de Mecanică sau pe instalaţia de laborator a ICSITEE.

Pe standul IPB s-a măsurat uzura unor epruvete metalice sub forma unor tronsoane de ţevi confecţionate din diferite oţeluri prin scăderea de masă care trebuie să se obţină la insuflarea unei anumite cantităţi de cenuşă antrenate de aer la temperatură ambiantă, în diferite condiţii de viteză şi concentraţie a cenuşii, la circulaţia amestecului bifazic în sens ascendent şi descendent, corespunzător diferitelor moduri de dispunere a ţevilor; cantitatea de cenuşă folosită pentru o experimentare a fost de 400—800 kg, viteza amestecului bifazic în secţiunea îngustată a fost de 20—26 m/s, iar concentraţia cenuşii a fost de 50—70 g/m³.

Pe instalaţia de laborator a ICSITEE s-a măsurat uzura unei plăci de aluminiu prin scăderea de masă a metalului care se obţine prin insuflarea la un unghi de lovire de 45° a unei anumite cantităţi de cenuşă, antrenată de aer la temperatură ambiantă, în anumite condiţii de viteză şi concentraţie a cenuşii în amestecul bifazic ; cantitatea de cenuşă folosită pentru o experimentare a fost de 0,500 kg, viteza amestecului bifazic a fost 80 m/s, iar produsul $c.\tau$ (concentraţia cenuşii în aer· durata experimentării) a fost 5,4 g.h/m³.

Prelevarea probelor de cenuşă s-a făcut diferenţiat, funcţie de sistemul de evacuare a cenuşii existent în fiecare centrală, astfel încît

Tabelul 1

CAZ	A	B	C
Debit de abur D (t/h)	$D_2 = D_1$	$D_2 < D_1$	$D_2 = D_1$
Debit de cărbune B (t/h)	$B_2 = \frac{1750}{1460} B_1$	$B_2 = B_1$	$B_2 = B_1$
Aport suplimentar de hidrocarburi			
— păcură cu $Q^i_i = 9300$ kcal/kg (kg păcură/kg cărbune)	—	—	0,0314
— gaz natural cu $Q^i_i = 8500$ kcal/m³ (m³*/kg cărbune)	—	—	0,0343
Raportul concentraţiei cenuşii în gazele de ardere, c_2/c_1	1,26	1,26	1,14
Raportul vitezei gazelor de ardere, w_2/w_1	1,07	0,89	0,99
Raportul uzurii ţevilor, U_2/U_1	1,58	0,86	1,10

* m³ în condiţii normale de temperatură şi presiune

Prin urmare, dată fiind capacitatea limitată a morilor, pentru majoritatea instalaţiilor situaţia reală este intermediară între ultimele două cazuri, astfel încît se poate considera că înrăutăţirea calităţii cărbunilor, prin creşterea conţinutului de steril faţă de valorile de proiect nu are ca efect o creştere însemnată a uzurii ţevilor datorită eroziunii de către cenuşă.

proba obținută să fie reprezentativă pentru cenușa care este antrenată de gazele de ardere în zona economizoarelor — suprafețele de transfer termic cele mai afectate de eroziune.

Valorile medii ale coeficienților de abrazivitate ale probelor de cenușă testate pe instalațiile experimentale sînt prezentate în tabelul 2.

În vederea stabilirii influenței caracteristicilor cenușii asupra caracterului lor abraziv au fost studiate dimensiunile, forma și compoziția chimică și mineralogică a probelor de cenușă testate pe stand.

În tabelul 3 sînt prezentate dimensiunile particulelor de cenușă, exprimate ca rest pe

Tabelul 2

Valorile medii ale coeficienților de abrazivitate a cenușilor prelevate de la diferite centrale termoelectrice

Proveniența cenușii	Coeficient de abrazivitate				
	$s^3/mm \cdot h$		$mm \cdot s^3/g \cdot h$		
	$K - D_a$	$K - D_d$	$N \cdot S_a$	$N \cdot S_d$	IEL*
	x 10^{-9}				
CTE Anina	13,62	14,44	5,25	5,58	9,00
CET Borzești	7,30	8,12	3,17	3,51	5,17
CET Drobeta	11,32	12,06	4,72	5,10	6,58
CET Giurgiu	10,90	11,80	4,01	4,34	6,70
CTE Mintia	6,13	6,61	2,80	3,02	5,18
CET Oradea	4,96	5,49	2,32	2,57	3,80
UE Paroșeni	5,28	6,18	2,54	2,97	4,71
CTE Rovinari	8,78	9,51	3,67	4,00	6,10
CTE Turceni	10,84	11,51	3,79	4,03	7,15
CTE Doicești					4,71
CET Işalnița — cazan 370 t/h					4,35
CET Işalnița — cazan 510 t/h					5,75
CET Ovidiu					8,41

* a — ascendent
d — descendent
K—D — calculat conform metodei Kuznețov—Dubowski } pe baza datelor obținute pe stan-
N.S. — calculat conform normei sovietice de calcul } dul IPB.
IEL — calculat pe baza datelor obținute pe instalația de laborator a ICSITEE.

Studiile și cercetările diverșilor autori care s-au preocupat de corelațiile existente între abrazivitate și celelalte caracteristici ale cenușii (1—11), converg în a arăta că proprietățile care condiționează comportarea cenușii în procesul de eroziune a suprafețelor de transfer termic ale cazanelor sînt dimensiunea, forma, compoziția chimico-mineralogică și duritatea particulelor.

sita de 90 μm—R_{90} (%) și ca diametru mediu efectiv δ (μm) și caracteristicile morfometrice exprimate prin indicele de rotunjire — R_0 — reprezentînd o apreciere a tendinței granulelor de a avea dimensiuni egale, tinzînd să devină izometrice și prin indicele de sfericitate S reprezentînd o frecvență a muchiilor și colțurilor.

Tabelul 3

Dimensiunea și caracteristicile morfometrice ale probelor de cenușă

Proba	R_{90} [%]	δ [μm]	R_0	S
CTE Anina	55	120	0,065	0,531
CET Borzești	40	95	0,092	0,630
CET Drobeta	67	165	0,081	0,690
CET Giurgiu	62	210	0,113	0,640
CTE Mintia	32	70	0,231	0,790
CET Oradea	32	80	0,343	0,832
U.E. Paroșeni	28	67	0,265	0,800
CTE Rovinari	43	100	0,123	0,728
CTE Turceni	68	175	0,071	0,591

Compoziția chimico-oxidică și compoziția mineralogică a probelor de cenușă sînt prezentate în tabelul 4, respectiv 5.

Corelarea valorilor coeficienților de abrazivitate cu celelalte caracteristici ale cenușii indică următoarele :

rotunjire, înseamnă prezența unor muchii și colțuri ascuțite, fapt ce contribuie la creșterea abrazivității lor.

c) Compoziția chimică-oxidică a probelor de cenușă nu poate furniza indicii privind caracterul eroziv al cenușii ; toate sorturile

Tabelul 4

Compoziția chimico-oxidică a probelor de cenușă

Proba cenușă	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	PC
CTE Anina	55,49	8,76	26,05	1,61	—	0,56	0,58	1,60	2,40
CET Borzești	51,14	10,25	21,81	5,56	3,06	0,95	1,15	2,30	1,44
CET Drobeta	49,99	10,37	21,32	3,82	2,17	1,80	0,55	0,89	6,31
CET Giurgiu	53,92	8,73	23,85	3,85	1,82	0,61	0,88	1,65	2,66
CTE Mintia	53,73	10,85	22,53	3,89	2,61	0,42	0,70	2,20	0,62
CET Oradea	57,30	9,46	19,80	4,62	3,05	0,65	0,95	2,00	0,91
UE Paroșeni	52,20	11,97	21,33	2,41	3,38	0,66	2,05	3,00	1,80
CTE Rovinari	50,04	9,49	20,53	6,55	2,95	1,70	0,90	2,21	2,65
CTE Turceni	52,53	8,13	20,63	6,73	2,97	0,61	1,25	2,10	2,82

Tabelul 5

Compoziția mineralogică a probelor de cenușă

Probă cenușă	Duritate Mohs	CTE Anina	CET Borzești	CET Drobeta	CET Giurgiu	CTE Mintia	CET Oradea	U.E. Paroșeni	CTE Rovinari	CTE Turceni
Faza cristalină, din care :		32,38	18,45	19,38	25,04	36,74	30,82	33,25	28,13	27,79
cuarț	7	17,82	6,03	9,12	12,46	14,57	13,25	14,75	8,47	10,66
mullit	7	3,96	3,21	2,38	5,10	5,87	7,77	4,32	2,48	3,74
tridimit	6—6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,53
feldspat plagioclaz	6,5	—	4,35	2,54	5,10	—	1,12	—	3,90	8,33
hematit	6,5	6,36	2,00	5,34	—	10,92	—	7,76	6,65	—
magnetit	5,5—6,5	—	—	—	—	—	6,38	1,10	—	—
analcim	5,5	0,61	—	—	—	—	—	—	—	—
philipsit	4—4,5	1,65	—	—	2,38	—	—	—	—	—
dolomit	3,5—4	—	1,33	—	—	1,96	0,63	0,71	2,84	—
calcit	3	—	1,53	—	—	3,42	—	4,62	3,19	—
illit	1—2	1,98	—	—	—	—	—	—	—	3,53
halloysit	1—2	—	—	—	—	—	1,67	—	0,60	—
Faza amorfă vitroasă + substanțe comb. nears		67,62	81,55	80,62	74,96	63,26	69,18	66,75	71,98	73,21

a) Valorile coeficienților de abrazivitate a cenușii cresc odată cu mărirea dimensiunii particulelor, datorită faptului că, la viteze egale, granule cu mase mai mari au o energie cinetică sporită.

b) Scăderea coeficienților de sfericitate și rotunjire ai particulelor are ca efect o creștere a valorilor coeficienților de abrazivitate a cenușii ; aceasta se datorează faptului că particule cu indice de sfericitate mic oferă o suprafață portantă mai mare, fiind, deci, antrenate cu viteze superioare față de particulele cu forme mai apropiate de cea izometrică ; pe de altă parte, însă, valori mici ale indicilor de

se încadrează în categoria cenușii mediu abrazive [1].

d) Dintre componenții mineralogici ai cenușii, cei care contribuie în cea mai mare măsură la realizarea uzurii erozive a oțelului sînt componenții cristalini cu duritate Mohs mai mare sau egală cu 6,5 și anume : cuarțul, mullitul, tridimitul, feldspatul plagioclaz și hematitul; ca urmare, coeficienții de abrazivitate a cenușii cresc odată cu mărirea ponderii acestor componenți.

Pornind de la valorile coeficienților de abrazivitate ai cenușii determinați experimental, au fost calculate prin metoda Kuznețov-Dubow-

ski și conform normei sovietice de calcul, vitezele maxim admisibile ale gazelor de ardere x_{adm} în zona economozoarelor cazanelor. Valorile obținute și, comparativ, viteza gazelor de ardere la sarcina nominală a cazanelor, în condițiile alimentării lor cu combustibil de proiect — v — sînt prezentate în tabelul 6. Valorile w_{adm} au fost stabilite în următoarele condiții :

— uzura maximă a țevilor $H_{max} = 2$ mm ;
— durata maximă de viață a țevilor = = 70 000 ore ;
— raportul dintre viteza gazelor de ardere la sarcină nominală și viteza lor la sarcina medie de exploatare $k_d = 1{,}33$;

— coeficient mediu de neuniformitate a cîmpurilor de viteze : 1,10 — pentru cazanele turn, 1,20 pentru cazanele în π ;

— coeficient mediu de neuniformitate a cîmpurilor de concentrație : 1,26.

Întrucît metoda Kuznețov-Dubowski nu se referă la starea reală de funcționare a cazanelor s-au calculat și valorile $w'_{adm} = w_{adm} \cdot k_d$.

În acest mod se obțin valori w'_{adm} calculate prin metoda Kuznețov-Dubowski foarte apropiate de valorile w_{adm} stabilite prin norma de calcul sovietică.

Analizînd raporturile w_{adm}/v, prezentate în tabelul 7, se constată că, pentru toate tipurile de cazane, valorile vitezei maxime admisibile a gazelor de ardere la funcționarea cu o sarcină medie de 75% sînt cu peste 30% mai mari decît viteza gazelor de ardere la sarcina nominală în condițiile alimentării cu combustibil de proiect.

Cu toate acestea, în anumite zone, datorită neuniformității cîmpurilor de viteze și concentrații ale cenușii și gazele de ardere, valorile reale ale vitezei și concentrației cenușii sînt mult mai mari decît cele stabilite prin calcul, apărînd pericol de eroziune. Astfel, măsurătorile efectuate de Swiski [12] arată că în spațiile dintre serpentine și pereți sau între coturi, viteza gazelor de ardere depășește de 2—3 ori pe cea medie calculată, iar măsurătorile mai recente efectuate de Malaubier și Mevel [1] indică o creștere a vitezei gazelor de ardere lîngă pereții cazanului cu 80% față de viteza gazelor în restul fasciculului.

Tabelul 6

Valorile vitezelor maxime admisibile ale gazelor de ardere calculate conform metodei Kuznețov-Dubowski (K—D) și normei sovietice de calcul (NS) comparativ cu viteza gazelor de ardere la sarcina nominală a cazanelor în condițiile alimentării lor cu combustibili de proiect (v)

Centrala	Tip cazan	Suprafața	v [m/s]	K — D			NS	
				$c_a \times 10^{-9}$ [S^3/mm × × h]	w_{adm} [m/s]	w'_{adm} [m/s]	$c_a \times 10^{-9}$ [mm × × s^3/g · h]	w_{adm} [m/s]
CTE Anina	520 t/h	economizor	5,2	13,62	5,53	7,35	5,26	7,99
CET Borzești	420 t/h	economizor	8,1	8,12	10,15	13,51	3,51	13,70
CET Drobeta	420 t/h	economizor	8,1	12,06	8,84	11,76	5,10	11,51
CET Giurgiu	420 t/h	economizor	8,1	11,80	8,90	11,84	4,34	12,19
CTE Mintia	Pp—55 330 t/h	zona de trecere economizor	7,2 6,8	6,61 6,61	9,96 9,24	13,25 12,29	3,02 3,02	12,03 12,15
CET Oradea	RSC 350 t/h	economizor	9,1	5,49	11,49	15,28	2,56	14,64
CET Oradea	RSC 400 t/h	economizor	8,6	5,49	11,53	15,37	2,56	14,64
UE Paroșeni	PK—10p 230 t/h	economizor superior	10,2	6,18	13,11	17,43	2,97	16,21
UE Paroșeni	PK 10p 230 t/h	economizor inferior	8,5	6,18	11,31	15,05	2,97	14,15
UE Paroșeni	PK-38—2 270 t/h	zona de trecere	7,9	6,18	13,92	18,52	2,97	16,42
UR Paroseni	PK-38—2 270t/h	zone de trecere	7,9	6,18	13,92	18,52	2,97	16,42
UE Paroșeni	PK-38—2 270t/h	economizor	6,8	6,18	11,61	15,45	2,97	14,07
CTE Rovinari	1035 t/h	economizor	10,5	8,71	11,04	14,68	3,66	14,98
CTE Turceni	1035 t/h	economizor	10,5	10,84	10,26	13,64	3,79	14,03

Tabelul 7

Raporturile dintre viteza maximă admisibilă a gazelor şi viteza de ardere la sarcina nominală cu combustibil de proiect

Centrala	Tip cazan	Suprafaţa	$w_{adm}{}_{K-D}$	$w'_{adm}{}_{K-D}$	$w_{adm}{}_{N.S.}$
			v	v	v
CTE Anina	520 t/h	economizor	1,06	1,41	1,54
CET Borzeşti	420 t/h	economizor	1,25	1,67	1,69
CET Drobeta	420 t/h	economizor	1,09	1,45	1,42
CET Giurgiu	420 t/h	economizor	1,10	1,46	1,50
CTE Mintia	Pp—55—330 t/h	economizor	1,38	1,84	1,67
CTE Mintia	Pp—55—330 t/h	zona trecere	1,36	1,81	1,79
CET Oradea	RSC—360 t/h	economizor	1,26	1,68	1,61
CET Oradea	RSC—400 t/h	economizor	1,34	1,79	1,70
UE Paroşeni	Pk—10p—230 t/h	economizor superior	1,29	1,71	1,59
UE Paroşeni	Pk—38—2—270 t/h	zona trecere	1,76	2,34	2,00
UE Paroşeni	Pk—10p—230 t/h	economizor inferior	1,33	1,77	1,66
UE Paroşeni	PK—38—2—270 t/h	economizor	1,47	1,95	1,78
CTE Rovinari	1035 t/h	economizor	1,05	1,39	1,42
CTE Turceni	1035 t/h	economizor	1,98	1,30	1,34

Concluzii

1. Se apreciază că, în condiţiile actuale de funcţionare a cazanelor de abur, înrăutăţirea calităţii combustibililor care alimentează unele centrale termoelectrice, prin creşterea conţinutului de steril, nu are ca efect o creştere majoră a uzurii exterioare a suprafeţelor de transfer termic datorită eroziunii provocate de cenuşă.

2. Abrazivitatea cenuşii combustibililor este determinată de dimensiunea, forma şi compoziţia mineralogică a cenuşii. În timp ce parametrii morfometrici şi compoziţia chimico-mineralogică depind de combustibilul utilizat, ultima fiind determinată, în oarecare măsură, şi de condiţiile de ardere, dimensiunea particulelor este dependentă de condiţiile de măcinare. Prin urmare, în condiţiile unui combustibil impus, singurul mod în care se poate micşora abrazivitatea cenuşii este realizată unei fineţi avansate de măcinare; aplicarea acestei metode este condiţionată, însă, de rezultatele analizei tehnico-economice.

3. Deşi calcul vitezei maxime a gazelor de ardere în zona economizoarelor pentru o serie de instalaţii de cazane pe baza valorilor coeficienţilor de abrazivitate a cenuşii a arătat că valoarea vitezei maxime admisibile a gazelor de ardere este mai mare decît valoarea medie a vitezei gazelor de ardere în cazul alimentării cazanelor cu combustibil de proiect, în anumite zone, datorită neuniformităţi cîmpului de viteze şi concentraţiei cenuşii apare pericol de eroziune. Astfel, în special la cazanele în π concentraţia cenuşii are valori mai mari decît cele medii în partea din spate a cazanelor.

Ca urmare, în stabilirea măsurilor de reducerea eroziunii, în afara aplicării unor protecţii locale în zonele cele mai afectate de eroziune, trebuie să se acorde o importanţă deosebită introducerii unor soluţii constructive care să aibă ca efect uniformizarea cîmpului de viteze şi concentraţii a cenuşii în gazele de ardere (montarea unor grătare în spaţiul creat între coturile serpentinelor şi peretele spate al cazanelor, montarea unor table „dirijoare de cenuşă" pe ţevile de susţinere din drumul II gaze de ardere).

Bibliografie

[1] Malaubier, F., Mével, J. C. *Erosion par les cendres volantes dans les chaudière à charbon putverisé.* În: Revue Alsthom, 11, p. 35—45 (1988).

[2] Popov, Z. G. *Abrazivnosti zoli ekibastuznogo uglia* În: Teploenerghetika, 5, p. 48—50, (1975).

[3] Bratcicov, V. N. *Vlianie fracţionogo sostava zoli na abrazivnîi isnoconvectivnîh poverhnostei nagreva paragheneratorov*, Teploenerghetika, 3, p. 91—92 (1971).

[4] Popov, A. G. *Umenşenie zotovogo iznosapoverhnostei nagreva pri sjiganii ekibastuznogo uglia.* În: Teploenerghetika, 4, p. 25—27 (1979).

[5] Swirski, J. *Analiza czynnitow uplywajacych na intensywnosć procesu erozji popiolowej rur kotlowych.* În: Buletyn Instytutu Energetyki 7/8, p. 52—55, (1968).

[6] Dolbnia, Iu. A. *Zaşcita dimososov reţirculaţi ot zolovogo iznosa.* 1-u Vsesoiuznoi Conferenţii Vlianie Mineralnoi Ceasti Energeticeskih topliv na usloviia raboti paravihkotlov, V, 3, p. 55—59, Tallin (1986).

[7] Horvath, L. G. *A GVH — baneltuzek különbözö lignit és baranaszén mintak, valamint visontai lignit pernyékrelativ sugár koptatási tulajdon ságainak vizsgálata.* În: VEIKI Kozlemenyek, p. 45—54 (1983—1984).

[8] Todoriev, N., Ciorbadjinski, I., Boidjiev, L. *Issledovanie abrazivnogo iznosa pri pomoşci activnogo meioda.* Simpozion Issledovaniia proţessov podgotovki i sjiganiia lignitnîh i burîh uglei i othodovobobaşceniia, Varna (1972).

[9] Sverdrup E.F., Menguturk, M., Glasser, A. *Control of fan erosion in coal fired power plants.* Report EPRI—CS—1979, Phase I, (1981). În: Chem. Abstr. 96 : 72.678 g, (1982).

[10] Kotwai, R., Tabakoff, W. A. *A new aproach for erosion prediction due to fiy ash.* Journal Engineering Power, 103, 2, p. 265—270, (1981).

[11] Popov, A. G. *Zolovoi izvos poverhnostei nagreva kotlov.* În: Izv. VUZ Energhetika, 1, p. 63—68 (1987).

[12] Swirski, J. *Kazaniia po proektirovanii i modernizaţii kotlov na toplivo s bolşim soderhaniem zolim s tociki ereniia podverhnosti zolovomu iznosu.* Simpozionum Issledovaniia po raţionalnomu issledovaniiu energheticeskih topliv, Varna, (1975).

(Primit la 19 februarie 1990, acceptat la 27 iunie, 1990)

Metode de determinare a coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune

Dr. ing. TRAIAN—G. IONESCU, prof. dr. ing. CARMEN GOLOVANOV,
ș. l. ing. PAUL MANOLESCU, ing. ROXANA OPREA *

Descriptori: nesimetrie inversă de tensiune

În cadrul lucrării se analizează definițiile coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune pentru un sistem trifazat, nesimetric de tensiuni. Se prezintă o metodă grafică de determinare a acestui coeficient și o metodă de măsurare, bazată pe filtre active, cu amplificatoare operaționale, a componentelor simetrice ale unui sistem trifazat, nesimetric de tensiuni.

The paper enlarges upon the definitions of the reverse voltage unsymmetry coefficient for a voltage three-phase unsymmetrical system. The author presents a graphical method for this coefficient assessment as well as a measurement method, based on active filters with operational amplifiers, of the symmetrical components of a three-phase unsymmetrical voltage system.

Prezența în rețelele trifazate a unor receptoare industriale cu echipamente electrotehnice monofazate de puteri mari, de exemplu instalații și agregate de sudură (500—900 kVA), instalații electrotermice, de inducție (100 MVA) etc., determină apariția unor regimuri nesimetrice ale sistemelor electroenergetice. Tracțiunea electrică reprezintă, de asemenea, un receptor dezechilibrat cu pondere importantă în balanța energetică a țării.

Efectele energetice ale acestor regimuri se manifestă prin creșterea consumurilor proprii tehnologice (pierderi suplimentare), precum și prin alterarea sensibilă a calității energiei electromagnetice furnizată de sistem [1—5].

Receptoarele echilibrate sînt afectate de prezența fenomenelor nesimetrice. Astfel, la mașinile asincrone (care reprezintă între (50—70) % din totalul mașinilor electrice) se constată: o creștere a pierderilor, însoțită de încălziri suplimentare ale înfășurărilor, apariția cîmpurilor învîrtitoare inverse, micșorarea randamentului, scăderea duratei de viață. Practica de exploatare a stabilit că durata de viață a unui motor asincron se reduce la jumătate atunci cînd tensiunea de secvență inversă reprezintă 4% din tensiunea nominală [1].

Deoarece nesimetria tensiunilor de alimentare afectează funcționarea receptoarelor echilibrate, apare necesitatea definirii unor parametri caracteristici ai acestui regim, stabilirea unei metode de măsurare și fixarea unor limite admisibile acceptabile de către furnizorul și utilizatorul de energie electrică.

* Dr. ing. Traian-G. Ionescu — Institutul de Cercetări și modernizări Energetice, prof. dr. ing. Carmen Golovanov, ș. l. ing. Paul Manolescu, ing. Roxana Oprea— Institutul Politehnic, București.

În literatură se utilizează mai multe definiții pentru caracterizarea gradului de nesimetrie al unui sistem trifazat de tensiuni. Ne propunem prezentarea parametrilor caracteristici ai unui regim nesimetric și stabilirea unor metode de calcul și măsurare pentru coeficientul de nesimetrie inversă de tensiune, corespunzătoare cerințelor de precizie și de simplitate, pe care le implică practica industrială.

1. Parametri caracteristici ai unui sistem trifazat nesimetric de tensiuni

Un sistem trifazat nesimetric de tensiuni de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ poate fi descompus în trei sisteme trifazate: direct, invers și homopolar, pe baza teoremei Stokvis-Fortescue [6]:

$$\begin{aligned} \underline{U}_R &= \underline{U}_h + \underline{U}_d + \underline{U}_i, \\ \underline{U}_S &= \underline{U}_h + a^2\underline{U}_d + a\underline{U}_i, \\ \underline{U}_T &= \underline{U}_h + a\underline{U}_d + a^2\underline{U}_i, \end{aligned} \qquad (1)$$

în care a este operatorul complex de rotație,

$$\underline{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}.$$

Prin rezolvarea sistemului (1) de ecuații, în raport cu $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$, se obțin componentele simetrice:

$$\begin{aligned} \underline{U}_h &= \frac{1}{3}(\underline{U}_R + \underline{U}_S + \underline{U}_T), \\ \underline{U}_d &= \frac{1}{3}(\underline{U}_R + a\underline{U}_S + a^2\underline{U}_T), \\ \underline{U}_i &= \frac{1}{3}(\underline{U}_R + a^2\underline{U}_S + a\underline{U}_T). \end{aligned} \qquad (2)$$

În literatură se întîlnesc mai multe definiții pentru parametrii caracteristici ai unui sistem trifazat nesimetric de tensiuni.

1.1. Coeficientul de nesimetrie inversă de tensiune este definit ca raport între valoarea efectivă a componentei inverse de tensiune și valoarea efectivă a componentei directe de tensiune a sistemului :

$$\varepsilon_i = \frac{U_i}{U_d}. \tag{3}$$

Această definiție este inclusă în cadrul normelor internaționale [1].

1.2. O variantă a aceste definiții propune *coeficientul de nesimetrie inversă de tensiune* ca fiind raportul dintre tensiunea inversă și tensiunea nominală a rețelei :

$$\varepsilon_i = \frac{U_i}{U_n}. \tag{4}$$

În U.R.S.S., valoarea maximă admisă a coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune la bornele receptorului, definit cu relația (4), este de 2% [1].

1.3. Coeficientul complex de nesimetrie inversă de tensiune este definit ca raport al reprezentărilor în complex ale componentelor inversă și directă de tensiune :

$$\varepsilon_i = \frac{\underline{U}_i}{\underline{U}_d} = \frac{U_i}{U_d} e^{j\theta_i} = \varepsilon_i e^{j\theta_i}, \tag{5}$$

θ_i fiind defazajul dintre fazorii $\underline{U}_i$ și $\underline{U}_d$.

1.4. Coeficientul de nesimetrie homopolară de tensiune, conform normativelor internaționale, se definește ca raport dintre valoarea efectivă a tensiunii homopolare și valoarea efectivă a tensiunii directe :

$$\varepsilon_h = \frac{U_h}{U_d}. \tag{6}$$

1.5. Coeficientul complex de nesimetrie homopolară de tensiune se definește ca raport al reprezentărilor în complex ale componentelor homopolară și directă de tensiune :

$$\varepsilon_h = \frac{\underline{U}_h}{\underline{U}_d} = \frac{\underline{U}_h}{\underline{U}_d} e^{j\theta_h} = \varepsilon_h e^{j\theta_h}, \tag{7}$$

θ_h fiind defazajul dintre fazorii reprezentativi ai componentelor homopolară și directă.

1.6. În unele țări, gradul de nesimetrie de tensiune se caracterizează prin *abaterea maximă a tensiunii de fază* față de valoarea medie a tensiunilor celor trei faze, raportată la această medie.

Deci, pentru sistemul tensiunilor de fază, U_R, U_S, U_T se calculează o valoare medie :

$$U_{med} = \frac{1}{3}(U_R + U_S + U_T) \tag{8}$$

și abaterile :

$$\delta_R = \frac{U_R - U_{med}}{U_{med}}; \quad \delta_S = \frac{U_S - U_{med}}{U_{med}};$$

$$\delta_T = \frac{U_T - U_{med}}{U_{med}} \tag{9}$$

Gradul de nesimetrie de tensiune se adoptă :

$$\delta_U = \max |\delta_k| \qquad k = R, D, T \tag{10}$$

În U.R.S.S., [1], sînt admise următoarele valori ale abaterilor de tensiune :

a) la bornele surselor de iluminat și instalațiilor exterioare de iluminat :

$$(-2{,}5 \div 5)\%;$$

b) la bornele motoarelor electrice :

$$(-5 \div 10)\%;$$

c) la bornele altor receptoare de energie electrică :

$$(-5 \div 5)\%.$$

2. Metoda grafică pentru determinarea coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune

2.1. Expresii exacte de calcul al coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune ε_i

Admițînd absența componentei homopolare ($U_h = 0$), din ecuațiile (1), și ținînd seama că $1 + a + a^2 = 0$, se obțin următoarele relații :

$$\left(\frac{U_R}{U_d}\right)^2 = 1 + \varepsilon_i^2 + 2\varepsilon_i \cos \theta_i,$$

$$\left(\frac{U_S}{U_d}\right)^2 = 1 + \varepsilon_i^2 + 2\varepsilon_i \cos\left(\theta_i - \frac{2\pi}{3}\right), \tag{11}$$

$$\left(\frac{U_T}{U_d}\right)^2 = 1 + \varepsilon_i^2 + 2\varepsilon_i \cos\left(\theta_i + \frac{2\pi}{3}\right).$$

În cazul tensiunilor de linie, notînd valoarea efectivă a tensiunii directe de linie cu U_d^l, știind că $U_d^l = \sqrt{3}\, U_d$, se obțin relațiile:

$$\left(\frac{U_{RS}}{U_d^l}\right)^2 = 1 + \varepsilon_i^2 - 2\varepsilon_i \cos\left(\theta_i + \frac{2\pi}{3}\right),$$

$$\left(\frac{U_{ST}}{U_d^l}\right)^2 = 1 + \varepsilon_i^2 - 2\varepsilon_i \cos\,\theta_i, \qquad (12)$$

$$\left(\frac{U_{TR}}{U_d^l}\right)^2 = 1 + \varepsilon_i^2 - 2\varepsilon_i \cos\left(\theta_i - \frac{2\pi}{3}\right).$$

Restricția precedentă este înlăturată, sistemul putînd sau nu să conțină o componentă homopolară (aceasta se elimină în mod firesc, la calculul tensiunilor de linie).

Coeficientul de nesimetrie inversă al tensiunilor de linie, rezultă din relația [2]:

$$\varepsilon_i^2 = \frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}, \qquad (13)$$

în care:

$$\beta = \frac{U_{RS}^4 + U_{ST}^4 + U_{TR}^4}{(U_{RS}^{22} + U_{ST}^2 + U_{TR}^2)^2}. \qquad (14)$$

Argumentul θ_i se calculează cu relația:

$$\theta_i = \text{arc tg}\, \frac{\sqrt{3}\,(U_{RS}^2 - U_{TR}^2)}{(U_{RS}^2 + U_{ST}^2 + U_{TR}^2)}. \qquad (15)$$

Nedeterminarea care caracterizează tangenta poate fi eliminată, ținînd seama de semnul sinusului, care este dat de:

$$\text{sign}\,(\sin\,\theta_i) = \text{sign}\,(U_{RS}^2 - U_{TR}^2).$$

Expresiile (13, 14, 15) sînt dificil de utilizat într-un calcul direct. În practică se impune realizarea unui compromis între facilitatea utilizării relației și precizia rezultatelor.

Considerațiile următoare sînt orientate spre realizarea unei reprezentări grafice adecvate a relațiilor (13,14,15) și spre elaborarea unor expresii simplificate de calcul, cele două moduri de abordare fiind complementare.

Reprezentarea grafică a coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune, definit printr-un modul și printr-un argument, nu este posibilă în plan, fără reducerea numărului de variabile. În acest sens s-au introdus două variabile carteziene relative:

$$x = \frac{U_{RS}}{U_{ST}} \text{ și } y = \frac{U_{TR}}{U_{ST}} \qquad (16)$$

și s-au reprezentat curbele parametrice de modul constant (ε_i = const.) și argument constant (θ_i = const).

În figura 1 s-a reprezentat modulul și argumentul coeficientului de nesimetrie inversă pentru un sistem trifazat nesimetric de ten-

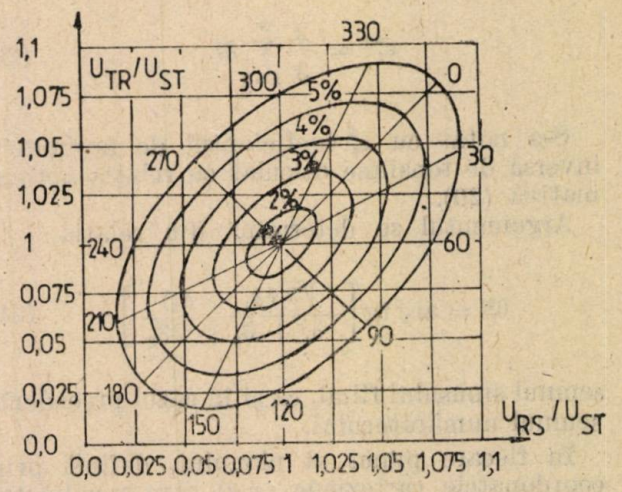


Fig. 1. Modulul ε_i și argumentul θ_i ale coeficientului de nesimetrie inversă pentru un sistem nesimetric de tensiune de linie, în funcție de variabilele carteziene:

$$x = \frac{U_{RT}}{U_{ST}} \text{ și } y = \frac{U_{TR}}{U_{ST}}$$

siuni de linie, în funcție de variabile carteziene relative. Graficul a rezultat din calculul ecuațiilor (12).

În cazul tensiunilor de fază (fără componentă homopolară), se obțin aceleași curbe, făcîndu-se următoarele schimbări de variabile:

$$x = \frac{U_R}{U_S} \text{ și } y = \frac{U_T}{U_S}, \qquad (17)$$

$$\theta_i(U) = \theta_i(U^l) - \frac{\pi}{3}.$$

2.2. Expresii aproximative de calcul al coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune

Forma curbelor parametrice sugerează căutarea unei expresii analitice aproximative, care rezultă dintr-o dezvoltare pînă la termenul de ordin doi al relației (13).

În acest scop, se determină valoarea medie a sistemului tensiunilor de linie:

$$U_{med}^l = \frac{U_{RS} + U_{ST} + U_{TR}}{3} \qquad (18)$$

și se calculează abaterile tensiunilor de linie față de valoarea medie:

$$\delta_1 = \frac{U_{RS} - U_{med}^l}{U_{med}^l},$$

$$\delta_2 = \frac{U_{ST} - U_{med}^l}{U_{med}^l}, \qquad (19)$$

$$\delta_3 = \frac{U_{TR} - U_{med}^l}{U_{med}^l}.$$

Ţinînd seama de relaţiile (19), expresia (13) devine, după eliminarea termenilor de ordin superior lui doi :

$$\varepsilon_i^{*2} = \frac{2}{3} \sum_{k=1}^{3} \delta_k^2. \qquad (20)$$

S-a notat cu ε_i^* coeficientul de nesimetrie inversă de tensiune calculat cu relaţia aproximativă (20).

Argumentul se determină din relaţia :

$$\theta_i^* = \text{arc tg} \left[\frac{\sqrt{3}\,(\delta_1 - \delta_3)}{\delta_1 + \delta_3 - 2\delta_2} \right], \qquad (21)$$

semnul sinusului fiind, ca şi în cazul precedent, semnul numărătorului.

În fiecare punct al planului, definit prin coordonatele carteziene (x,y) care rezultă din (16), corespund abaterile :

$$\delta_1 = (2x - y - 1)/(x + y + 1),$$

$$\delta_2 = (-x - y + 2)/(x + y + 1), \qquad (22)$$

$$\delta_3 = (-x + 2y - 1)/(x + y + 1).$$

În figura 2 se prezintă, comparativ, coeficientul exact şi coeficientul aproximativ de nesimetrie inversă a tensiunilor de linie, într-un domeniu de variaţie de pînă la 10%. Se constată că precizia rămîne acceptabilă pînă la $\varepsilon_i = 10\%$ (pînă la $\varepsilon_i = 5\%$ erorile nici măcar nu pot fi estimate).

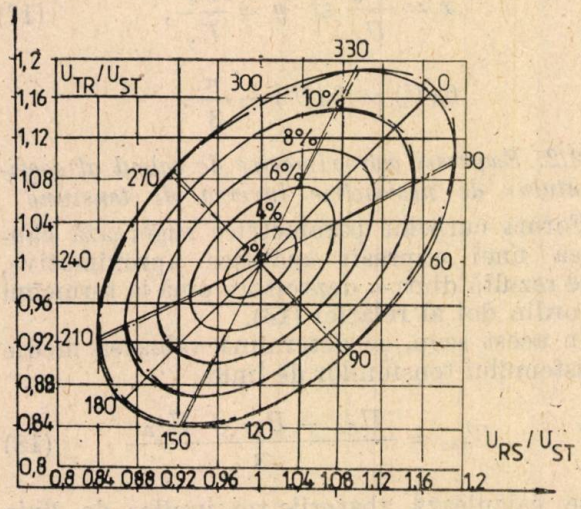


Fig. 2. Modulul şi argumentul coeficientului exact şi coeficientului aproximativ de nesimetrie inversă pentru un sistem nesimetric de tensiuni de linie, în funcţie de variabilele carteziene :

$$x = \frac{U_{RS}}{U_{ST}} \text{ şi } y = \frac{U_{TR}}{U_{ST}}$$

Urmînd procedeul de simplificare utilizat anterior, se poate ajunge la o expresie de forma :

$$\varepsilon_i^{**} = \max |\delta_k|, \qquad (23)$$

care corespunde definirii nesimetriei tensiunilor, ca fiind abaterea maximă a tensiunilor faţă de media lor, raportată la această medie.

O asemenea definiţie însă, ca şi aplicarea relaţiei (23), nu sînt recomandabile în practică. Pentru argumentare, se consideră un exemplu numeric.

La măsurarea tensiunilor de linie s-au obţinut valorile :

$U_{RS} = 210$ V ; $U_{ST} = 215$ V ; $U_{TR} = 220$ V.

Rezultă $U_{med} = 215$ V şi

$$\delta_1 = -5/215,$$

$$\delta_2 = 0,$$

$$\delta_3 = +5/215,$$

iar max. $|\delta_k| = |\delta_1| = |\delta_3|$.

Se calculează ε_i^* şi ε_i^{**} ; rezultă :

$\varepsilon_i^* = 2{,}685\%$, conform (20),

$\varepsilon_i^{**} = 2{,}326\%$, conform (23).

Deci eroarea comisă aplicînd relaţia aproximativă (23) faţă de relaţia (20) este de $-13{,}4\%$.

Dacă se consideră eroarea absolută de măsurare a tensiunii ca fiind 0,5 V, eroarea de măsurare pentru abaterea de 5 V este de 10%.

În aceste condiţii, eroarea de aplicare a relaţiei aproximative şi eroarea de măsurare sînt de acelaşi ordin de mărime, ceea ce înseamnă că ε_i^{**}, în cazul cel mai defavorabil, poate fi diferit de valoarea teoretică cu 25%.

3. Metoda directă de măsurare a componentelor simetrice

Metoda directă de măsurare presupune utilizarea unor filtre pentru obţinerea componentelor simetrice. Sînt cunoscute filtrele pasive, care utilizează transformatoare de măsură de tensiune şi elemente rezistive R şi reactive Z de valori impuse, astfel încît $\underline{Z} = -a^2R$. Precizia metodei este afectată de erorile transformatoarelor de măsură, de erorile datorate variaţiei frecvenţei reţelei [6].

Se propune o schemă de măsurare a componentelor simetrice, realizată cu filtre active, pe baza amplificatoarelor operaţionale, µA 741 J (fig. 3). Semnalele de intrare sînt tensiunile U_R, U_S, U_T atenuate prin intermediul unor divizoare de tensiune pur rezistive, pentru a fi reduse la valori compatibile cu amplificatoarele operaţionale folosite [7].

3.1. Măsurarea componentei directe

Componenta directă se determină, cu un voltmetru digital, la ieşirea amplificatorului operaţional ponderat CI 5 ; pe intrările amplifi-

catorului ponderat CI 5 se introduc : tensiunea $\underline{U}_R$, tensiunea $\underline{U}_S$ defazată cu 120° (prin intermediul unui circuit defazor a, CI_1) și tensiunea $\underline{U}_T$ defazată cu 240° (prin intermediul unui circuit defazor care realizează relația $1 + a + a^2 = 0$, CI 4).

Circuitul integrator CI 2 este identic cu CI 1. Circuitul integrator CI 4 realizează semnalul $a^2\underline{U}_T$ pe baza relației : $a^2\underline{U}_T = a\underline{U}_T - \underline{U}_T$, respectiv $1 + a + a^2 = 0$, prin însumarea, cu pondere unitate a semnalelor $a\underline{U}_T$ și $\underline{U}_T$ pe intrarea inversoare a circuitului integrat men-

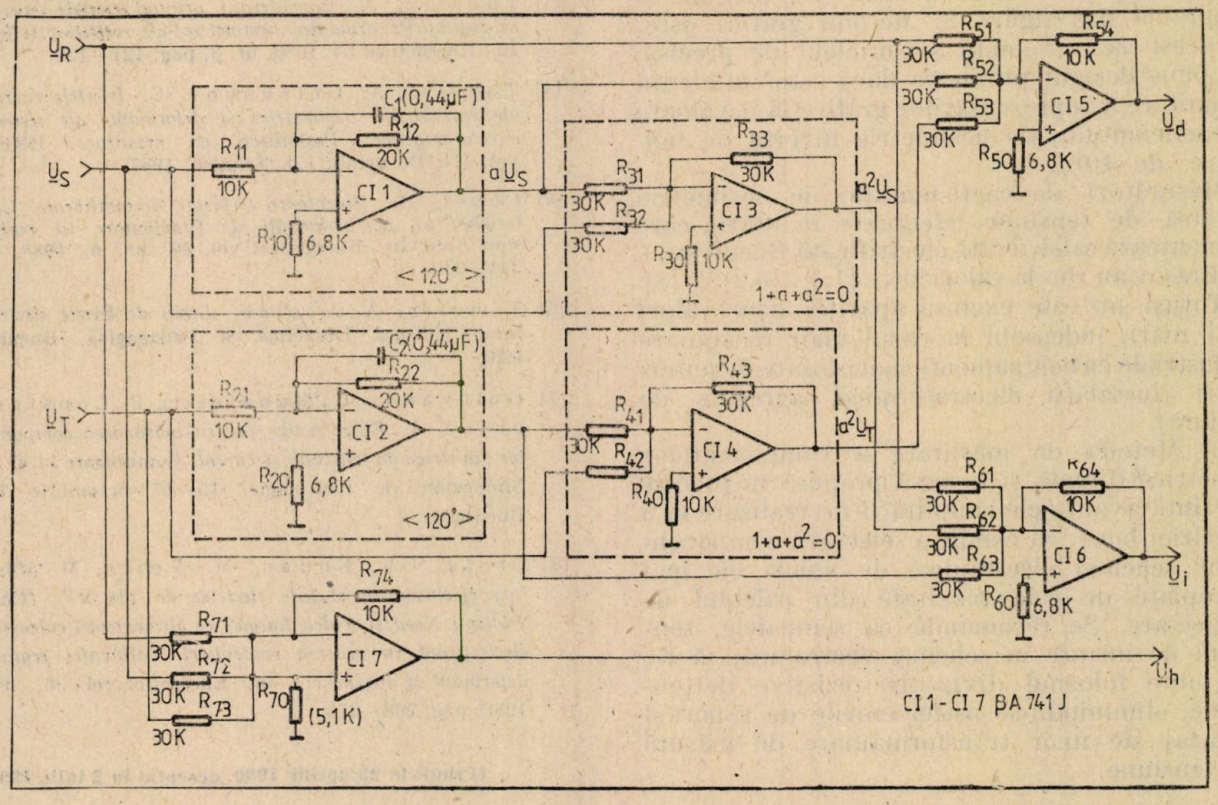


Fig. 3. Schema unui aparat pentru măsurarea componentelor simetrice de tensiune.

Circuitele integrate CI 1 și CI 2 sînt circuite integratoare (filtre trece-jos).

Pentru circuitul CI 1, funcția de transfer este :

$$\underline{F}(\omega) = \frac{\underline{U}_2(\omega)}{\underline{U}_1(\omega)} = -\frac{R_{12}}{R_{11}} \frac{1}{1 + j\omega R_{12}C_1}. \quad (24)$$

Pentru realizarea defazajului $\underline{U}_S \rightarrow a\underline{U}_S$ ($\underline{U}_T \rightarrow a\underline{U}_T$) cu $\underline{a} = e^{j2\pi/3} = -\frac{1}{2}(1 - j\sqrt{3})$, se impune condiția :

$$\underline{F}(\omega) = \underline{a} \quad (25)$$

din care se obține relația :

$$\omega R_{12}C_1 = \sqrt{3}. \quad (26)$$

Pe baza relației (26) rezultă, pentru $f = 50$ Hz, valorile necesare pentru R_{12} și C_1.

ționat. În fine, circuitul CI 1 (inversor) dă, la ieșirea sa, suma ponderată $\underline{U}_d = 1/3\,(\underline{U}_R + a\underline{U}_S + a^2\underline{U}_T)$.

3.2. Măsurarea componentei inverse

Circuitul sumator ponderat CI 3 realizează la ieșirea sa tensiunea $-a\underline{U}_S - \underline{U}_S = a^2\underline{U}_S$, care apoi este însumată cu $\underline{U}_R$ și cu $a\underline{U}_T$ de sumatorul ponderat inversor CI 6, la ieșirea căruia se obține tensiunea $\underline{U}_i = 1/3\,(\underline{U}_R + a^2\underline{U}_S + a\underline{U}_T)$. Tensiunea $\underline{U}_i$ se măsoară cu un voltmetru digital.

Coeficientul de nesimetrie inversă al sistemului de tensiuni se determină cu relația (3).

Concluzii

1. Pentru determinarea coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune este necesară, în primul rînd, o corectă definire a acestuia.

În prezenta lucrare s-au enumerat definițiile întîlnite în literatură. Se remarcă faptul că determinarea coeficientului de nesimetrie ca abatere maximă față de valoarea medie raportată la valoarea medie reprezintă o formă

simplificată de gradul întîi (19) a relației (9). Această definiție nu poate fi recomandată, din cauza impreciziei care o însoțește, așa după cum rezultă din exemplul numeric analizat.

2. Pentru valori ale coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune mai mică decît 10%, se poate utiliza relația (6), precum și diagrama din figura 2. Metoda grafică este, în acest caz, eficientă și suficient de precisă. Se pune desigur problema dacă este suficientă o limitare a reprezentărilor grafice la o valoare a coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune de 10%.

Măsurători ale coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune, efectuate în stații care alimentează calea ferată electrificată București — — Brașov au dus la valori între (1,5 ÷ 6,2)% [8].

Totuși nu este exclusă apariția unor valori mai mari, îndeosebi în cazul unor receptoare industriale cu echipamente monofazate de puteri mari (instalații electrotermice, agregate de sudură).

3. Metoda de măsurare a componentelor simetrice directă și inversă propusă în lucrare prezintă avantajele simplității de realizare și a preciziei bune, cu condiția selectării componentelor schemei electronice, de valori cît mai apropiate de cele rezultate din calculul de proiectare. Se recomandă ca semnalele, tensiuni de intrare în schema electronică, să fie obținute folosind divizoare rezistive de tensiune, eliminîndu-se astfel erorile de raport și defazaj ale unor transformatoare de măsură de tensiune.

Bibliografie

[1] Sidlovschii, A. K., Kuznetov, V. G., Nikolaenko, V. G. *Optimizatiia nesimmetricinih rejimov. Sistem elektrosnabjeniia.* Kiev, Naukova Dumka, 1987

[2] Pierrat, L., Meyer, I.P. *Le taux de déséquilibre, mai c'est très simple.* In: R.G.E. 6(1987), p. 18—26.

[3] Țugulea, A. *Considerații privind efectele energetice în regimurile armonice nesimetrice ale rețelelor trifazate.* În: Energetica, 34, 1986, nr. 3, pag. 121—129.

[4] Țugulea, A., Golovanov, C. *Efectele energetice ale regimurilor nesimetrice și deformante ale sistemelor electroenergetice. Posibilități de măsurare.* ENERG, vol. III, București, Ed. Tehnică, 1987.

[5] Pavel, E. *Receptoare trifazate dezechilibrate. Caracteristici și particularități de funcționare în regimuri stabilizate.* În: Energetica, vol. 36, nr. 6, 1988, pag. 241—249.

[6] Timotin, A. și colab. *Lecții de bazele electrotehnicii.* Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964.

[7] Golovanov, C., Manolescu, P., Constantinescu, I. *Filtre active pentru măsurarea componentelor simetrice de tensiune și curent.* Comunicare la al 3-lea Simpozion de metrologie, 15—17 octombrie 1987, București.

[8] Crețu, Gh., Bodan, M., Voicu, M. *Măsurători efectuate în stațiile electrice de 110 kV (Chitila, Ploiești Nord și Valea Largă) ce alimentează calea ferată electrificată în vederea evidențierii influenței regimului deformant și nesimetric.* În: Energetica, vol. 36, nr. 6, 1988, pag. 268—275.

(Primit la 23 aprilie 1990, acceptat la 2 iulie 1990)

Asupra tehnologiei de ardere a păcurii grele

Prof. dr. ing. CORNEL UNGUREANU, as. dr. ing. IOANA IONEL*

Descriptori: tehnologii de ardere, combustibili lichizi

După o scurtă trecere în revistă a păcurilor care se ard în termocentrale, se face analiza noxelor gazoase ce se dezvoltă în timpul arderii lor: SO_x, V_2O_5 și NO_x.

SO_3 este principala cauză a coroziunii acide a preîncălzitorului de aer și al coșurilor metalice, iar V_2O_5 determină coroziunea vanadică a supraîncălzitoarelor ce lucrează la peste 890 K. Celelalte gaze precum SO_2 și NO_2 sînt nocive pentru mediul ambiant.

Pentru protejarea cazanului de abur și a mediului înconjurător se impun măsuri pe de o parte pentru diminuarea formării NO_x în timpul arderii, iar pe de altă parte pentru curățirea gazelor de ardere. Nu este suficientă aditivarea păcurilor ci trebuie să se organizeze arderea, astfel încît conținutul de oxigen în zonă să fie redus.

Pentru curățirea gazelor de ardere se impun insuflarea de NH_3 în prezența unui catalizator și apoi spălarea lor cu o soluție alcalină într-un scruber.

After a short review of the heavy oils being burned in thermal power plants, an analysis of the gaseous noxes (SO , V_2O_5 and NO_x) developing during their combustion is carried out.

SO_3 is the main cause of the air pre-heater and steel stacks acid corrosion, and V_2O_5 determines the vanadium corrosion of the superheaters operating at above 890 K. The other gases such as SO_2 and NO_2 are harmful to the environment.

To protect the steam boiler and the environment, certain steps should be taken in order to reduce the NO_x emissions during combustion and on the other hand to provide the flue gas cleanup. The oil additive treatment is not enough, the combustion should be performed so that the oxygen content might be reduced.

For the flue gas cleanup the NH_3 blasting should be adopted in the presence of a catalyst and further on the alkaline solution flushing in a scrubber.

1. Noxele produse în procesul de ardere a păcurii

În centralele termice din țara noastră se folosesc cantități importante de păcură cu conținut ridicat de sulf și vanadiu. În unele centrale termice păcura constituie combustibilul de bază, în altele — combustibil de rezervă sau combustibilul de suport. În cele mai multe cazuri se folosesc păcuri de tipul 70/42 S și 300/50 S. Unele caracteristici ale acestora sînt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Unele caracteristici ale păcurilor folosite în centralele termice din România [1]

Tipul păcurii	Viscozitatea relativă maximă, în °E		Conținutul maxim de:		
	la 50°C	la 80°C	Sulf, S[%]	Vanadiu, Va [ppm]	Sodiu, Na [ppm]
70/42 S	70	12	3,3	100	150
300/50 S	300	55	4,5	150	200

În vederea arderii păcura grea se pulverizează de regulă cu ajutorul unor injectoare pneumatice cu abur și uneori cu injectoare mecanice. În urma oxidării diverșilor compoненți ai păcurii apar o serie de substanțe nocive atît pentru instalația de cazan, cît și pentru mediul ambiant.

1.1. Prin oxidarea sulfului se produce SO_2, care în condiții potrivite de temperatură și concentrație a oxigenului, parțial trece în SO_3. Formarea SO_3 are loc atît în flacără, prin activarea termică a moleculelor, cît și în zonele de radiație și convecție ale cazanelor prin reacția catalizată de V_2O_5, Fe_2O_3, NiO și funinginea din depuneri.

În principal, gradul de conversie al anhidridei sulfuroase SO_2 în anhidridă sulfurică SO_3 este dependent de concentrația oxigenului liber și de temperatură. Astfel, la 1473 K creșterea coeficientului excesului de aer de la 1,02 la 1,23 are ca efect creșterea gradului de conversie de la 0,64 % la 1,8 %, deci practic o triplare a cantității de SO_3 formate. O scădere a temperaturii flăcării de la 1573 K la 1473 K, în condițiile menținerii constante a coeficientului excesului de aer $\lambda = 1{,}1$, are ca efect o creștere a valorilor gradului de conversie de la 0,44 la 0,73 % [1].

Prezența anhidridei sulfurice în gazele de ardere constituie factorul principal care determină coroziunea sulfurică a suprafețelor de încălzire ale cazanelor, dispuse în zone cu temperaturi mai mici decît temperatura punctului de rouă acidă.

Eliminați în mediul ambiant, oxizii de sulf SO_x sînt nocivi [2]. De aceea normele sanitare din țara noastră limitează concentrațiile de SO_2 în aer la maximum 0,25 mg/m^3.

* Prof. dr. ing. Cornel Ungureanu, as. dr. ing. Ioana Ionel — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timișoara

1.2. Prin oxidarea vanadiului, în cazul unui exces mare de aer, pe lîngă alți oxizi ai acestui metal, se produce și V_2O_5. În prezența sărurilor de sodiu ia naștere vanadilvanadatul de sodiu, care se topește la 891 K și formează cu oxizii de fier combinații în stare lichidă pe țevile supraîncălzitoarelor de abur, distrugîndu-se astfel stratul protector și expunînd metalul la o nouă oxidare. Are loc așa-numita coroziune vanadică a țevilor supraîncălzitoarelor de abur, dacă temperatura peretelui metalic al acestora depășește valoarea precizată mai sus.

1.3. Gazele provenite din arderea păcurii conțin oxizi de azot NO_x, din care circa 95 % NO și circa 5 % NO_2. Avînd în vedere că la ieșirea din coșul de fum NO se transformă rapid în NO_2, mult mai agresiv decît NO, se impun măsuri de eliminare nu numai a dioxidului, ci și a monoxidului de azot din gazele de ardere.

Cantitatea de NO_x formată depinde de conținutul de azot al păcurii, de nivelul temperaturii la care se produce arderea, de concentrația oxigenului liber în zona de ardere și de timpul de staționare al gazelor în zona cu temperatură înaltă [3, 4].

Poluarea mediului ambiant cu oxizi de azot constituie un real pericol pentru populație și pentru menținerea echilibrului ecologic.

Normele sanitare din țara noastră [5] prevăd o concentrație maximă de oxizi de azot, exprimați în NO_2, în atmosfera ambiantă, de 0,1 mg/m³. Această concentrație reprezintă media pe 24 ore, cea momentană neputînd depăși 0,3 mg/m³.

Toxicitatea oxizilor de azot, crește foarte mult prin sinergism cu alți poluanți [3]. Astfel, expunînd frunze de diferite plante într-o atmosferă de NO_2 în concentrație de 2,0 ppm și separat într-o atmosferă de SO_2 în concentrație de 0,7 ppm, după patru ore nu s-a observat nici o schimbare morfologică în structura frunzelor. Expunînd însă, aceleași frunze într-o atmosferă cu ambele noxe într-o concentrație mult mai mică, de numai 0,1 ppm fiecare, s-a observat o continuă modificare a țesuturilor frunzelor.

2. Măsuri pentru reducerea noxelor

Desigur, în primul rînd, calea pentru reducerea noxelor ar trebui să vizeze eliminarea totală sau numai parțială a sulfului din păcură. Această cale este foarte complicată și necesită cheltuieli mari. Așa, de exemplu, desulfurarea păcurii a dus la creșterea prețului cu peste 20%. Procedeul este considerat oneros și în același timp ineficient pentru încadrarea în normele sanitare privind conținutul de SO_x în gazele eliminate pe coș. Așa se face că în momentul de față atenția se îndreaptă, pe de o parte spre măsuri primare privind organizarea proceselor de ardere de așa manieră încît să se reducă cantitatea de noxe, iar pe de altă parte, se apelează și la măsuri secundare, adică la tehnica curățirii gazelor de ardere înainte de a fi eliminate în mediul ambiant.

2.1. Încercările de ardere a păcurilor sulfuroase cu aditiv indigen pe bază de oxid de magneziu în focare ciclon (fig. 1) cu coeficient

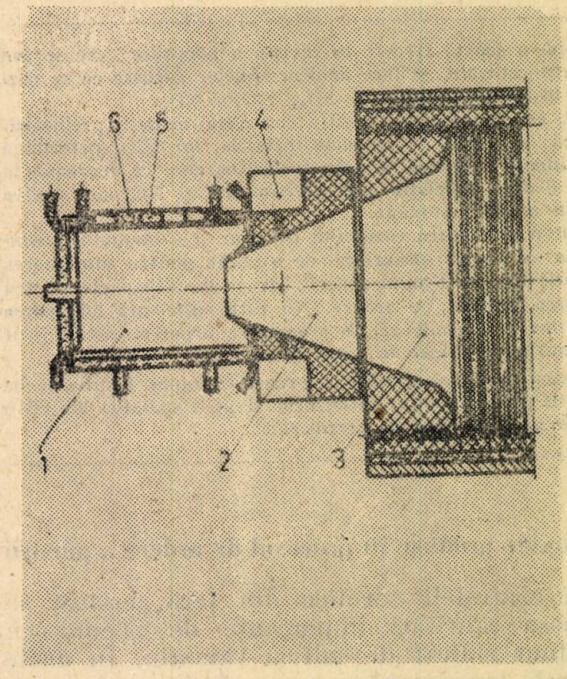


Fig. 1. Schema principală a focarului ciclon și tunelul de flacără [7]: 1 — focar ciclon; 2 — cameră de ardere suplimentară; 3 — tunel de flacără; 4 — aer terțiar; 5 — aer secundar; 6 — injector.

al excesului de aer $\lambda_f = 1{,}02 - 1{,}03$, efectuate de un colectiv mixt de cercetare de la ICEMENERG București și Institutul Politehnic Timișoara [6, 7, 8] au avut ca scop împiedicarea conversiei anhidridei sulfuroase (SO_2) în anhidridă sulfurică (SO_3). Rezultatele acestor cercetări au arătat că prin dozarea aditivului în proporție de $(0{,}5 - 1{,}0)^0/_{00}$ pentru păcură cu conținut de $S = (2{,}5 - 3{,}0)\%$, concentrația de SO_3 în gazele de ardere a scăzut sub 10 ppm, ceea ce practic înseamnă reducerea severă sau chiar înlăturarea coroziunii sulfurice a preîncălzitorului de aer și a coșului de fum metalic.

Transpunerea rezultatelor acestor cercetări în practica industrială a arderii păcurii sulfuroase și cu conținut ridicat de vanadiu, a întîmpinat dificultăți nu atît în direcția producerii la scară industrială a aditivului, cît mai ales în privința implementării focarelor ciclon, cu gabarite, e drept, mai mari decît al actualelor arzătoare de păcură. Avantajele aduse însă de această nouă tehnologie de ardere a păcurilor grele de tipul 300/50 S sînt însă de necontestat și reprezintă, după părerea

autorilor, calea cea mai sigură spre soluționarea corectă a dificultăților foarte mari, care apar la exploatarea și întreținerea cazanelor care funcționează cu acest tip de păcură.

Metoda cea mai eficientă de reducere a coroziunii sulfurice la cazanele industriale o constituie aditivarea păcurii simultan cu arderea acesteia cu un coeficient al excesului de aer cît mai apropiat de unitate. Acest lucru rezultă clar din figura 2, în care s-a reprezentat variația

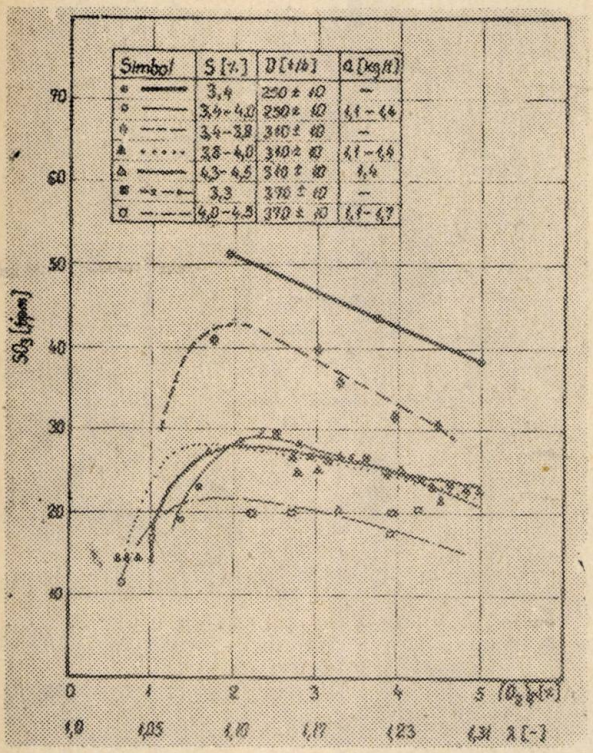


Fig. 2. Variația concentrației anhidridei sulfurice în funcție de conținutul de oxigen liber în gazele de ardere, sarcina cazanului și cantitatea de aditiv, la arderea păcurii 300/50 S în cazanul nr. 2—420 t/h CET Palas [1].

concentrației de SO_3 în gazele de ardere în funcție de coeficientul excesului de aer λ, de conținutul de sulf S și aditiv a introdus, precum și de sarcina cazanului la arderea păcurii 300/50 S în cazanul nr. 2 de 420 t/h din CET Palas, înzestrat cu injectoare mecanice [1]. Se precizează că s-a folosit aditiv românesc, fabricat de I.C. Rîșnov, care constă dintr-o suspensie de MgO în ulei mineral.

Din figura 2 rezultă că indiferent de sarcină, dacă coeficientul excesului de aer în focar $\lambda = 1{,}02-1{,}03$, concentrația de SO_3 în gazele de ardere scade sub 10 ppm, în condițiile aditivării păcurii în proporție de $(1{,}1-1{,}7)_5\%$. Acest regim de ardere poate fi realizat folosind injectoare cu pulverizare pneumomecanică sau în focare turbionare de tipul ciclon, mult mai puțin pretențioase la calitatea pulverizării.

2.2. Un stadiu și mai avansat îl prezintă arderea păcurii în două trepte folosind o instalație specială denumită combustor (fig. 3). În prima treaptă arderea se petrece în focarul ciclon în care se insuflă tangențial un debit de aer mai mic decît cel minim necesar arderii. Ca urmare, arderea va decurge în regim substoichiometric, iar gazele de ardere, care părăsesc focarul ciclon propriu-zis, vor avea un conținut de nearse sub formă de CO și de funingine. Definitivarea procesului de ardere se face în cea de a doua treaptă, concepută sub forma unui arzător pentru combustibil gazos.

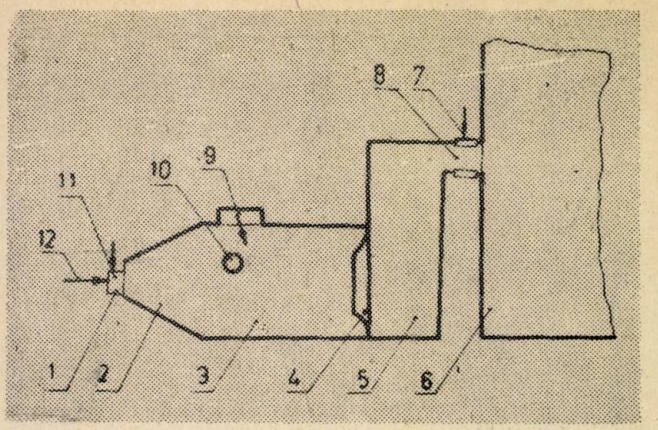


Fig. 3. Schema de principiu a arderii în două trepte a păcurii grele într-o instalație tip combustor : 1 — arzător de pornire pe gaz natural ; 2 — camera de ardere a combustibilului gazos ; 3 — focar ciclon ; 4 — ajutat ; 5 — camera de întoarcere ; 6 — focar principal ; 7 — aer terțiar ; 8 — arzător ; 9 — aer secundar ; 10 — injector păcură ; 11 — aer pentru combustibilul gazos ; 12 — gaz natural.

Superioritatea acestei noi tehnologii, propusă de autorii prezentului articol, este evidentă în comparație cu cele folosite pînă în prezent, din următoarele motive :

a) arderea păcurii aditivate în prima treaptă (focarul ciclon) cu $\lambda = 0{,}6-0{,}8$ și definitivarea acestui proces în cea de a doua treaptă cu $\lambda = 1{,}02-1{,}05$, împiedică conversia SO_2 în SO_3, deci se înlătură pericolul coroziunii sulfurice a suprafețelor de încălzire de joasă temperatură și a coșurilor de fum metalice ; totodată este posibilă și frînarea producerii pentaoxidului de vanadiu V_2O_5, deci a coroziunii de înaltă temperatură a țevilor supraîncălzitoarelor de abur ;

b) reducerea temperaturii adiabatice în focarul ciclon (fig. 4) cu circa (600—400) K în comparație cu situația cînd $\lambda = 1{,}02-1{,}05$, precum și desfășurarea procesului de oxidare a produselor pirolizei primare și secundare a gazelor obținute din vaporizarea picăturilor de păcură constituie factori care contribuie la diminuarea formării oxizilor de azot [9,10,11] și a instalației de reducere a acestora din gazele de ardere ;

c) pulverizarea păcurii poate fi mai puțin fină, deoarece timpul de staționare a picăturilor grosiere în combustor este suficient de lung pentru ca acestea să se poată evapora și să

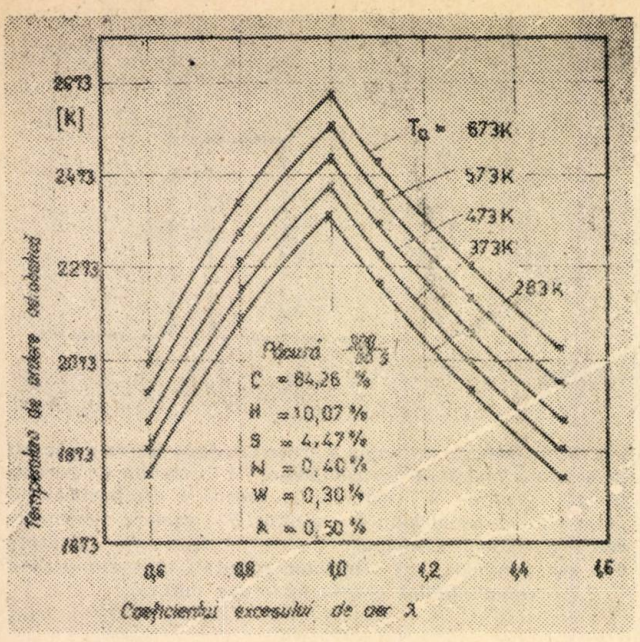


Fig. 4. Variaţia temperaturii de ardere adiabatică în funcţie de coeficientul excesului de aer λ şi temperatura de preîncălzire a aerului T_a pentru păcură tip 300/50 S.

ardă complet, ceea ce practic exclude posibilitatea murdăririi suprafeţelor de încălzire ale cazanului cu funingine şi gudroane, deci şi avariile datorate aprinderii intempestive a acestora;

d) arderea perfectă şi completă cu excese de aer foarte mici ($\lambda_f = 1{,}02-1{,}05$), în comparaţie cu folosirea arzătoarelor cu pulverizare mecanică cînd $\lambda_f = 1{,}15-1{,}2$, are ca efect reducerea pierderilor relative de căldură la coş şi a celor datorate arderii imperfecte, respectiv creşterea randamentului termic al cazanului şi scăderea consumului de combustibil cu circa (2—2,5)%.

3. Depoluarea gazelor de ardere pentru reţeaua NO_x-ului şi a SO_2-ului

Arderea în două trepte a păcurilor grele aditivate poate duce la o reducere importantă a concentraţiei oxizilor de azot şi de sulf din gazele de ardere, dar înzestrarea tuturor cazanelor consumatoare de păcură cu arzătoare tip combustor nu este întotdeauna nici posibilă şi nici economică.

De aceea, ocrotirea mediului înconjurător necesită pe lîngă măsurile primare de îmbunătăţire a arderii şi prevederea unor măsuri secundare de curăţire a gazelor de ardere.

3.1. Dintre multiplele procedee de eliminare a oxizilor de azot din gazele de ardere [2, 3, 9, 12, 13, 14], în străinătate se aplică mai ales procedeul SCR (Selectiv Catalitic Reduction), care foloseşte NH_3, injectat la temperaturi între (600—670) K şi catalizator fagure. Acesta din urmă se fabrică în mai multe ţări după un patent japonez şi constă dintr-un material ceramic ce conţine catalizatorul activ (TiO_2 — V_2O_5).

Catalizatorul este asamblat din module tip fagure, dispuse în mai multe straturi (fig. 5) într-un reactor DENOX, amplasat între economizor şi preîncălzitorul de aer regenerativ (fig.6).

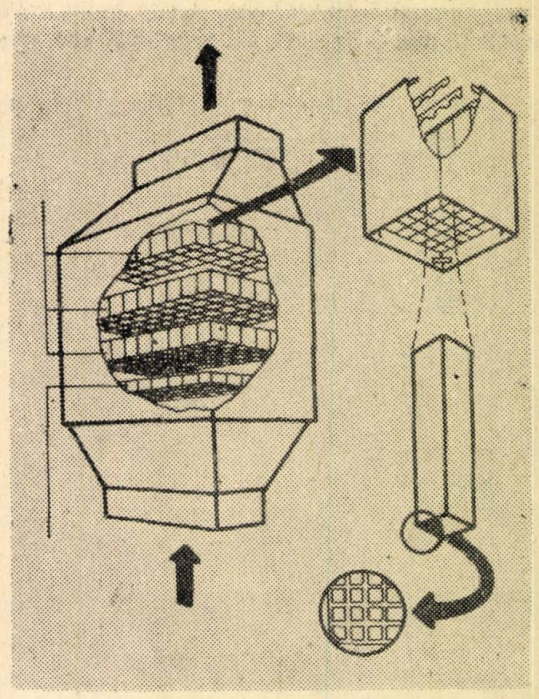


Fig. 5. Amplasarea catalizatorului Waben sub formă de module tip fagure.

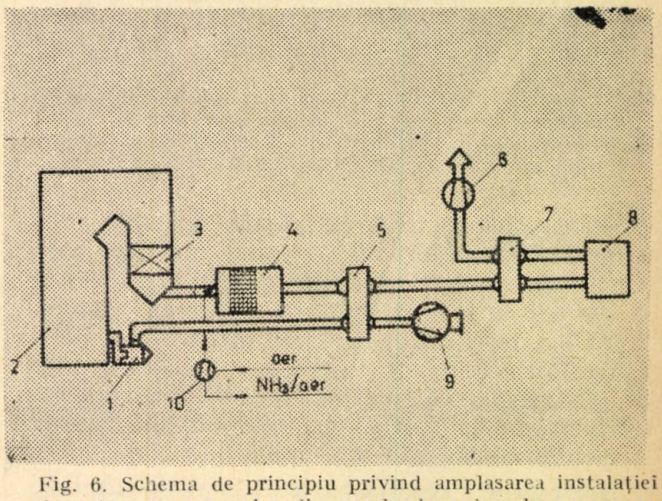


Fig. 6. Schema de principiu privind amplasarea instalaţiei de extragere a noxelor din gazele de ardere la cazane cu funcţionare pe păcură: 1 — combustor; 2 — cazan; 3 — economizor; 4 — reactor DENOX; 5 şi 7 — preîncălzitor regenerativ de aer şi de gaze; 6 şi 9 — ventilator de gaze şi aer; 8 — instalaţie pentru desulfurarea gazelor; 10 — amestecător.

Este necesar ca printr-o dozare corectă şi un control atent în timpul exploatării a debitului de NH_3, injectat în gazele de ardere, să se reducă la minim sau chiar să se evite

scăpările de amoniac la ieşirea din reactorul DENOX. În caz contrar există riscul formării sulfaţilor de amoniu şi deci apare pericolul murdăririi şi coroziunii instalaţiilor amplasate în aval.

3.2. Desulfurarea gazelor de ardere se poate realiza printr-un număr foarte mare de procedee, umede sau uscate, dar nici unul nu este rentabil din punct de vedere economic. La optarea pentru una sau alta din tehnologiile de desulfurare se ţine seama de randamentul de desulfurare care se poate atinge, de factorul economic (investiţii, cheltuieli de exploatare), ca şi de problema manipulării, depozitării şi eventual comercializării produselor secundare sau deşeu rezultate din desulfurare [15].

În schema din figura 6 s-a considerat că se aplică procedeul umed de desulfurare, prin spălarea gazelor de ardere cu o soluţie de hidroxid de calciu şi carbonat de sodiu; deşeul obţinut este un nămol deşeu sau care oferă cel mult posibilitatea extracţiei de gips.

Prin spălarea gazelor de ardere temperatura acestora scade pînă la circa (320—330)K. Pentru îmbunătăţirea tirajului natural al coşului şi mai ales pentru o mai bună dispersie a penei de fum s-a prevăzut un schimbător de căldură care asigură reîncălzirea gazelor la circa (360—370) K, evitîndu-se în acest fel şi condensarea vaporilor de apă în coşul de fum.

Concluzii

Aplicarea tehnologiei de ardere în două trepte a păcurilor grele, cu conţinut ridicat de sulf şi vanadiu, este o necesitate obiectivă spre care trebuie să se îndrepte atenţia specialiştilor în condiţiile în care calitatea acestor combustibili se înrăutăţeşte permanent.

Eforturile pentru finanţarea cercetărilor, necesare implementării unei astfel de tehnologii, vor fi compensate din plin prin creşterea siguranţei în funcţionare a cazanelor, reducerea cu (2—2,5)% a consumului de combustibil, micşorarea cantităţii de noxe şi implicit protejarea mediului înconjurător.

Perspectiva dotării obligatorii a cazanelor din ţara noastră cu instalaţii pentru limitarea conţinutului de noxe din gazele de ardere, necesită intensificarea preocupărilor pentru selectarea celor mai bune procedee, care să ţină seama de combustibil, tehnologia de ardere, tipul arzătorului şi focarului.

Bibliografie

[1] Matei, M. *Studiul îmbunătăţirii utilizării păcurii sulfuroase în centralele termoelectrice.* Teză de doctorat, Ploieşti, 1988.

[2] Moţoiu, C. *Centrala termoelectrică şi mediul înconjurător, posibilităţi actuale de reducere a influenţelor poluante.* În: ENERG, nr. 1, p. 127—158.

[3] Medeleanu, V. *Contribuţii privind depoluarea atmosferei de oxizi de azot reziduali.* Teză de doctorat, I.P.T., 1983.

[4] Bell, O. *Stickstoffoxidbildung in stationaren Heizölflammen bei Atmosphärendruck.* În: Brennst. Wärme -Kraft 26 (1974), nr. 7, juli, p. 291—297.

[5] Antonescu, N. ş. a. *Valorificarea energetică a deşeurilor,* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1988, p. 145.

[6] Ungureanu, C. ş. a. *Cercetări experimentale în domeniul arderii păcurii în focare ciclon de mică putere* A II-a Sesiune de comunicări tehnico-ştiinţifice, ICPET Bucureşti, 1972, 17 pg.

[7] Ungureanu, C. ş. a. *Contribuţii privind reducerea coroziunii sulfurice la arderea păcurilor cu un conţinut de peste 2% sulf.* În: Buletin ştiinţific şi tehnic I.P.T., seria mecanică, tom 19 (33), fasc. 1, 1974, p. 55—66.

[8] Neaţu, V. *Cercetări experimentale privind arderea păcurilor sulfuroase cu şi fără aditiv.* În: Energetica, nr. 3, 1974, p. 88—91.

[9] Braun, B. *Massnahmen und Möglichkeiten zur Emissionsminderung von Feststoffen und Schadgasen bei der Auslegung und Konstruktion der verschidenen Feuerungsanlangen und Dampferzeuger.* I Symposium Rauchgasreinigung, 24 April 1980, p. 31—58.

[10] Viani, E. R. *Endurance tests to prove slagging combustor* In: Modern Power Systems, august 1986, p. 35—41.

[11] Thielen, W. *Einfluss der Brennerkonstruktion auf das brennernahme Strömungsfeld in gestuften Kohlenstaubfeuerungen* In: BWK Bd. 40/1988, nr. 5, p. 186—192

[12] Tiemann, P. *Katalysatoren für die Stickstoffoxidreduktion* In: BWK, 1987, nr. 3, p. 107—110.

[13] Becker, J. *West Germany's initial SCR experience* In: Modern POWER Systems, june, 1987, p. 19—25.

[14] Kitto Jr., J. B. *The SO_x NO_x RO_x BO_x uses het catalytic scrubbers* In: Modern Power Systems, ian., 1989, p. 24—25.

[15] Ataman, E. *Procedee uscate de desulfurare a gazelor de ardere.* In: ENERG 1, Ed. Tehnică, Buc. 1986, p. 158—174.

(Primit la 15 iunie 1989, acceptat la 4 iunie 1990)

200 DE ANI DE LA NAȘTEREA LUI AUGUSTIN — LOUIS CAUCHY

CAUCHY s-a născut la Paris, la 21 august 1789, în timpul revoluției franceze, într-o epocă de mari frămîntări politico-sociale. După studii liceale remarcabile, a devenit în 1805 elev al Școlii Politehnice, care fusese înființată la 28 septembrie 1794, avînd ca profesori pe celebrii oameni de știință Monge, Lagrange, Laplace, Fourier, Prony și Poisson. După terminarea Școlii Politehnice a urmat ingineria la Ecole des Ponts et Chaussées (1807 — 1810), după care a lucrat ca inginer la Cherbourg, participînd la lucrările de construcții portuare.

Cariera științifică i-a fost deschisă după ce a prezentat, în 1811, Academiei de Științe lucrarea intitulată „*Recherches sur les polyèdres*", în care, extindea unele rezultate ale lui Euler. A urmat un alt studiu relativ la congruența sau asemănarea poliedrelor.

În 1815 a prezentat Academiei de Științe lucrarea „*Théorie de la propagation des ondes à la surface d'un fluide*", care a fost premiată și a avut ca urmare începerea îndelungatei sale activități în învățămîntul universitar.

În epoca în care Cauchy își începea activitatea științifică, calculul diferențial și integral și mecanica rațională, sub impulsul lui Descartes, Newton, Leibniz, al savanților din familia Bernoulli, a lui Taylor, D'Alembert, Lagrange, Laplace, înregistraseră progrese enorme și aduseseră o transformare revoluționară în gîndirea științifică.

În opera sa științifică, Cauchy a obținut rezultate fundamentale în geometrie și în analiza matematică, contribuind în mod esențial la introducerea unui nou spirit de rigoare și la reclădirea analizei matematice, bazată numai pe noțiunea de număr.

În 1821 Cauchy a reconsiderat noțiunea de limită a unui șir și a elaborat criteriul său general de convergență, care precizează condiția necesară și suficientă de convergență a șirurilor de numere reale și complexe.

Pe timpul său, noțiunea fundamentală de funcție de o variabilă reală și de continuitate nu căpătaseră accepția generală. Reluînd considerațiile lui Euler, Cauchy a dat în 1821 o definiție generală a continuității. A generalizat „formula creșterilor finite" a lui Lagrange, dînd acea „formulă a creșterilor finite generalizată" („formula lui Cauchy").

Principalele rezultate privind integrarea funcțiilor reale fuseseră obținute de creatorii calculului integral Leibniz, Newton și de urmașii acestora, ca frații Jacob și Ioan Bernoulli, Euler, dar teoria riguroasă a integralei se găsea încă în fază incipientă. În lucrarea „*Mémoire sur les integrales definies*", publicată în 1825, a reexaminat definiția integralei pentru funcțiile reale continue sau cu singularități izolate. Teoria sa va fi reluată și extinsă în 1854 de marele matematician german B. Riemann (1826—1866) și apoi de G. Darboux (1842 — 1917), ajungîndu-se astfel la noțiunea generală de integrală riemanniană.

Dar Cauchy a avut și ideea deosebit de ingenioasă de a considera și integrale de funcții complexe. Lucrarea sa fundamentală „*Mémoire sur les integrales définies prises entre des limites imaginaires*" din anul 1825, marchează o dată deosebit de importantă în istoria matematicii, deoarece în acest memoriu se creează un nou capitol al analizei matematice, numit apoi „teoria funcțiilor de o variabilă complexă".

Cauchy a rezolvat problema dezvoltării în serie a funcțiilor complexe și reprezentarea acestora prin produse infinite.

Este de notat aici că prin investigațiile sale, Cauchy a deschis un alt vast domeniu de cercetare privind teoria funcțiilor analitice și prelungirea analitică, domeniu în care își vor aduce contribuții esențiale K. Weierstrass (1815 — 1897) și B. Riemann (1826 — 1866) prin teoria sa asupra reprezentării conforme.

Menționăm aici că formula fundamentală:

$$f(z) = \frac{1}{2\pi i} \Phi \frac{f(\zeta)}{\zeta - z} d\zeta$$

a lui Cauchy, care în esență a constituit sursa numeroaselor sale descoperiri și ale urmașilor săi din domeniul analizei complexe, a primit o importantă extindere din partea matematicianului român Dimitrie Pompeiu (1873 — 1954).

Domeniile de cercetare matematică ale lui Cauchy, pe care nu am făcut decît să le schițăm aici, îl plasează desigur printre cei mai mari matematicieni pe care i-a dat vreodată omenirea.

Dar celebritatea sa este datorită, în egală măsură, contribuțiilor sale cu totul excepționale din domeniul mecanicii. În epoca în care el a apărut pe firmamentul științei, mecanica înregistrase mari progrese sub impulsul, în special, al operalor fundamentale ale lui Newton (1687), Leibniz, Iacob, Ioan și Daniel Bernoulli, Leonnard Euler, Collin Mac — Laurin, Maupertuis, D'Alembert, Lagrange și Laplace. Grație descoperirilor acestor mari înaintași, mecanica sistemelor de particule materiale și teoremele ei universale era deja bine conturată. În edificarea acestei mecanici au adus o contribuție fundamentală D'Alembert și Lagrange.

Dar mecanica solidelor deformabile și mai general a mediilor continue deformabile s-a format ca disciplină bine închegată grație aportului esențial al lui Cauchy, care a introdus conceptele generale de stare de tensiune și de acțiune de contact, enunțînd astfel un postulat care-i poartă numele.

Cauchy a dat ecuațiile care exprimă principiul impulsului și principiul momentului cinetic pentru orice operațiune a mediului material continuu considerat. El a exprimat forța de tensiune ca funcție de versorul normalei $\bar{n}$ la elementul de suprafață care le separă.

Ținînd seama de principiul impulsului pe care l-a enunțat, Cauchy a dat ecuația fundamentală de mișcare pentru orice mediu material

$$\bar{a} = \bar{F} - \frac{1}{\varrho} \operatorname{div} \bar{T},$$

unde a este accelerația, $\bar{F}$ forța masică care acționează asupra elementului de masă unitate, $\bar{T}$ tensorul tensiunilor, ϱ densitatea. El a scris această funcție în notații scalare adecvate.

Cauchy a pus în evidență proprietatea de simetrie a tensorului tensiunilor în cazurile uzuale și a subliniat necesitatea punerii în legătură a acestui tensor cu tensorul de deformație pe care l-a scos de asemenea în evidență. Premisele creării unei mecanici generale a mediilor materiale continue erau astfel puse. De altfel, ecuațiile cu derivate parțiale ale teoriei elasticității s-au obținut și pe cale independentă de aceea a lui Cauchy de către Navier (1785— 1836) în 1823.

Importanța operei lui Cauchy va fi pusă mai bine în evidență de abia în a doua jumătate a secolului al XX-lea, odată cu crearea reologiei. Contribuțiile recente ale școlii americane de mecanica mediilor continue au evidențiat rolul de mare precursor al lui Cauchy, ale cărui concepții de bază au fost reluate de Truesdell, Coleman, Noll, Ericksen, Rivlin Serrin și alți mecanicieni. Ele au fost dezvoltate pentru descrierea și obținerea ecuațiilor fundamentale pentru noi tipuri de materiale.

Este de subliniat aici că însuşi calculul tensorial a fost iniţiat în esenţă de A.L. Cauchy, că el a pus temelii la studiul funcţiilor tensoriale cu valori scalare sau cu valori tensoriale, aducînd astfel primele contribuţii la studiul funcţiilor scalare sau tensoriale izotrope şi aceasta cu mult înainte de a se fi introdus notaţiile adecvate calculului tensorial sau matricial şi de apariţia materialelor, ca polimerii cu diverse proprietăţi reologice, pentru care se va pune în primul rînd problema determinării legilor lor constitutive sau de comportare.

Prin lărgirea considerabilă a noţiunii însăşi de funcţie care, la predecesorii săi, Euler şi Lagrange, se reducea numai la aceea de funcţii reale de una sau mai multe variabile reale, Cauchy apare astfel şi ca un mare deschizător de drumuri spre o analiză generală, care va fi apoi opera matematicii secolului al XX-lea.

A. L. Cauchy a adus importante contribuţii în mecanica fluidelor, în hidrodinamica fluidelor ideale. În teoria vîrtejurilor el a dat binecunoscutele ecuaţii care exprimă vorticitatea la un moment oarecare în funcţie de vorticitatea la momentul iniţial în cazul fluidelor ideale, ceea ce reprezintă o contribuţie de seamă şi o extindere a unei celebre teoreme ale lui Lagrange. Asupra acestei chestiuni va reveni apoi marele om de ştiinţă german Hermann von Helmholtz (1821—1894).

La fel ca şi Poisson (1821) Cauchy s-a interesat de teoria valurilor (1827). El a considerat mişcarea ondulatorie a unui lichid greu, situat într-un bazin infinit, dînd o expresie remarcabilă a potenţialului vitezelor.

Opera ştiinţifică a lui Cauchy este vastă. Ea se reflectă în cele aproape 800 de lucrări ştiinţifice pe care le-a publicat. După Gino Loria [5, p. 381], care a încercat o clasificare a acestora, Cauchy a realizat 69 de lucrări privind aritmetica şi teoria numerelor, 39 de geometrie, 72 de analiză, 81 despre integrale definite, 40 relativ la funcţii simetrice, 73 în legătură cu teoria seriilor, 48 de teoria ecuaţiilor algebrice, 39 legate de studiul funcţiilor periodice inverse, 84 de teoria ecuaţiilor diferenţiale, 113 de mecanică, 102 de optică, 73 de astronomie. Această activitate îl situează alături de Euler, care de asemenea, prin cele 1200 de lucrări realizate, a contribuit la impetuoasa dezvoltare a matematicii şi a mecanicii. Ea explică desigur şi regretabila circumstanţă, care i-a fost reproşată, a rătăcirii unui important memoriu al lui N.H. Abel, care fusese prezentat de acesta Academiei de Ştiinţe din Paris şi asupra căreia Cauchy ar fi trebuit să prezinte un raport.

În legătură cu activitatea sa didactică a redactat o serie de tratate care pot fi considerate ca exemple de prezentare pedagogică, dintre care menţionăm *Cours d'analyse de l'Ecole Royale Polytechnique*, Paris 1821, *Résumé des leçons données a l'Ecole Royale Polytechnique sur le calcul différéntiel*, Paris 1823, *Leçons sur le calcul différentiel*, Paris 1829, *Exercices de mathématiques* (51 fascicule), Paris 1826 — 1830, *Résumés analytiques*, 5 fascicule, Torino — 1833, *Exercices d'analyse et de physique mathématique*, 4 volume, Paris, 1840 — 1847.

* * *

Cauchy a încetat din viaţă la Sceaux în 22 mai 1857. Aşa cum era de aşteptat opera sa ştiinţifică colosală i-a atras admiraţia contemporanilor săi şi a urmaşilor acestora pînă în zilele noastre. Unul dintre iluştrii matematicieni, Charles Hermite (1822 — 1901) într-un discurs rostit la Sorbona, la inaugurarea noilor ei localuri, îi elogiază opera sa de matematician în termenii următori [6, p. 155]: „*Operele lui Cauchy ocupă un loc imens în ştiinţă. Toate capitolele matematicii, geometria, algebra, teoria numerelor, calculul integral, mecanica, astronomia, fizica matematică îi datorează cele mai mari descoperiri. Peste 700 de memorii care au fost publicate, dovedesc prodigioasa sa activitate ştiinţifică şi fecunditatea geniului său ...*".

Terquemt insistînd asupra importanţei operii matematice a lui Cauchy, subliniază pe bună dreptate următoarele „*Urmaţi orice potecă vreţi în regiunea infinitesimală; veţi fi sigur de a întîlni amprentele profunde ale paşilor lui Cauchy*" [6 p. 158].

Operele sale „*Oeuvres complètes*" au fost publicate la Paris între 1882 şi 1958 [1].

La bicentenarul naşterii lui Cauchy, putem să ne dăm seama de amploarea şi importanţa operei sale. Trecerea anilor a pus în evidenţă şi importanţa nemuritoarelor creaţii ale lui Cauchy din domeniul mecanicii mediilor continue, care cunoaşte astăzi o deosebită înflorire şi care stă la baza cunoştinţelor inginereşti.

Cele de mai sus confirmă faptul că specialiştii care lucrează în energetică îi datorează lui Cauchy deosebite cunoştinţe teoretice şi practice.

Bibliografie

[1] CAUCHY, A.L. Oeuvres complètes, Gauthier — Villars, Paris, 1885 — 1958.
[2] IACOB, C. Siméon — Denis Poisson, Gazeta matematică, Seria Metodică, Anul 2, nr. 2, 1981, p. 97—101.
[3] IACOB, C. Sur l'évolution de la mécanique classique depuis Newton et Euler jusqu'à D'Alembert et Lagrange, Noesis XIV, 1988, p. 17—23, Bucureşti.
[4] IACOB, C. Le bicentenaire de la Mécanique analytique, Noesis XV, 1989, p. 13—20, Bucureşti
[5] LORIA, G. Storia delle Matematiche, vol. III, Ulrico Editore Milano, Torino, 1933.
[6] REBIÈRE. A. La vie et les travaux des savants modernes d'après les documents académiques choisis et abrégés. Vuibert, 4e ed. Paris.

Acad. prof. CAIUS IACOB

HANS THIESS-O CARIERĂ INDELUNGATĂ ȘI PLINĂ DE REALIZĂRI

Cu ocazia împlinirii vîrstei de 100 ani, revista Energetica a luat un interviu distinsului energetician care este inginerul diplomat Hans Thiess.

Domnul Hans Thiess s-a născut la 9 octombrie 1890, la Brașov, fiu al unui învățător. A studiat electrotehnica la Școala Politehnică din München; devenit inginer a intrat în anul 1920 și a activat fără întrerupere în serviciul Uzinei Electrice Sibiu, apoi în cadrul IRE Sibiu, pînă la pensionare în anul 1957.

În îndelungata sa activitate a avut realizări variate și importante. Acestei sinteze de viață și muncă dorim să-i relevăm sensurile prin răspunsurile pe care l-am rugat să ni le dea la întrebările ce urmează.

Care din aspectele trecutului vă sînt mai vii în amintire?

H.Th. Copilăria fără griji și cu speranțe în viitor. Anii de școlarizare în care mi-am îmbogățit cunoștințele și mi-am format puterea de judecată. Participarea în profesiune la lucrările interesante. Satisfacția că acțiunile mele erau apreciate. Mulțumirea mea sufletească că am fost un pion al electrificării.

Ce v-a determinat ca după absolvirea unei școli politehnice renumite să vă stabiliți la Sibiu?

H.Th. Originar din Transilvania, m-am simțit legat de acest ținut frumos. Am fost atras și de faptul că orașul Sibiu avea o tradiție în folosirea electricității. În anul 1896 a fost pusă în funcțiune centrala hidroelectrică Sadu 1, de la care, printr-o linie electrică monofazată, la tensiunea de 4 kV, au fost alimentate orașele Sibiu și Cisnădie. După experimentarea primului transport electric în curent alternativ la înaltă tensiune, în anul 1891, între Lauffen și Frankfurt, linia Sadu-Sibiu a fost printre primele trei realizate pe plan mondial pentru utilizarea practică.

Deoarece ați colaborat cu marele energetician Oscar von Miller, care a proiectat centrala Sadu 1 și transportul de energie electrică, vă rugăm să ne spuneți amintiri despre el.

H.Th. Oscar von Miller a mai proiectat și a doua centrală hidroelectrică pe rîul Sadu, pusă în funcțiune în 1907, de asemenea și alte centrale mai mici în Transilvania și a elaborat în 1921—1922 un proiect de electrificare a unei mari părți a Transilvaniei, la care am colaborat și eu. Oscar von Miller era un inginer foarte competent, capabil să dea soluții la toate problemele tehnice care se puneau. A fost și un animator al dezvoltării folosirii energiei electrice.

După 1950 rîul Sadu a intrat din nou în preocupările de amenajări hidroelectrice.

H.Th. M-am bucurat că s-a construit centrala hidroelectrică Sadu 5. În perioada interbelică, SETA preconizase realizarea celei de a treia centrale hidroelectrice pe Sadu, pentru care s-au făcut studii prin Societatea Motor Columbus din Elveția (inginer Pompeiati), la unele contribuind și eu. Deși nu am participat la construirea centralei Sadu 5 am cunoscut specialiștii care au contribuit la aceasta (prof. Cristea Mateescu și prof. Dorin Pavel) și am apreciat progresele care se făcuseră în concepția construirii centralelor hidroelectrice față de realizările obținute cu cîteva zeci de ani în urmă.

În afara centralelor hidroelectrice de pe rîul Sadu, „Uzina Electrică Sibiu" a avut și o centrală cu grupuri diesel electrice.

H.Th. Aceasta a fost executată în anul 1904. A fost necesară atît datorită creșterii consumului de energie electrică, cît și pentru compensarea producției variabile a centralelor hidroelectrice.

Uzina electrică Sibiu a avut o exploatare complexă. La ce eveniment deosebit din exploatare ați participat?

H.Th. Am proiectat trecerea de la curent monofazat de 42 Hz la curent trifazat 50 Hz și la normalizarea tensiunilor, am luat parte la lucrările de instalare de redresoare cu mercur, printre primele din România, în locul convertizoarelor rotative pentru alimentarea în curent continuu a tramvaielor; am mai participat la interconectarea rețelei întreprinderii Uzina Electrică Sibiu cu rețeaua SETA, realizîndu-se astfel un minisistem electroenergetic.

Dv. ați avut și o interesantă activitate științifică.

H.Th. Am desfășurat-o mai ales în cadrul Asociației Generale a Producătorilor și Distribuitorilor de Energie Electrică — APDE, îndeplinind funcția de secretar al secției 2 Sibiu. În această calitate m-am ocupat îndeosebi de elaborarea Statisticii Uzinelor Electrice din România. Aceasta a fost editată anual, în intervalul 1920—1942, tipărită pe hîrtie velină, conținînd și o hartă a centralelor electrice și a liniilor electrice. Era întocmită cu rigurozitate, cu titlurile rubricilor în limba română și limbi străine. Statistica nu era numai o acumulare de cifre (fără erori), ci era și o lucrare de studiu, în care cititorul putea să sesizeze progresele de la an la an și era astfel la zi cu evoluția electrificării.

Despre rezultatele anuale publicam articole în buletinul APDE și în reviste străine. În afara acestor lucrări am publicat și alte articole, unele în revista Energetica.

Ce alte activități a desfășurat APDE?

H.Th. A fost o organizație care a stabilit relații tehnice între energeticieni și între întreprinderile de electricitate, acțiune foarte folositoare.

În ce formă era organizată întreprinderea „Uzina Electrică Sibiu" în care ați lucrat?

H.Th. Sub formă de societate anonimă pe acțiuni, deținute de o instituție de credit din Sibiu și de particulari. Această formă era foarte avantajoasă desfășurării activității.

Din cele expuse rezultă că activitatea dv. în energetică a fost foarte bogată.

Ați fost un promotor al dezvoltării electrificării și în acest sens ați contribuit și prin efectuarea unor valoroase studii științifice.

Din partea colegiului revistei Energetica vă felicităm călduros și vă dorim sănătate și mulțumiri în anii viitori.

Interviu luat de ing. PAUL CARTIANU

ȘTEFAN PROCOPIU, FIZICIAN ȘI ENERGETICIAN

Prof. CEZAR BUDA

La 19 ianuarie 1990 s-au împlinit o sută de ani de la nașterea la Bîrlad al lui Ștefan Procopiu, care în 1925 avea să devină profesor al Universității din Iași, titular al catedrei de gravitație, căldură și electricitate. Pînă la dispariția sa la 22 august 1972, savantul nu a mai părăsit acest oraș decît pentru scurt timp, forțat să se refugieze împreună cu Universitatea, din cauza năvalei războiului din 1944. Nici în vacanțe nu pleca prea departe de Iași, oprindu-se la mînăstirile din nordul Moldovei, la Agapia sau Varatec.

Profesor exigent, în primul rînd cu el însuși, apoi cu studenții săi și, mai ales, cu asistenții și doctoranzii săi, meticulos cercetător, om al laboratorului și al catedrei, Procopiu este întemeietorul școlii românești de fizică experimentală; dar el nu se izolează în turnul său de fildeș, ci participă la treburile obștești, mai ales la cele de ordin cultural, uneori însă și la cele de ordin edilitar, în care a putut spune un cuvînt pertinent, fără a coborî în Agora.

Cine era, în fond, savantul Procopiu, recunoscut ca atare de comunitatea mondială a oamenilor de știință? Primul copil al unei familii modeste: tatăl, Emanoil, mic slujbaș comunal; mama, Catinca Tașcă, fiica unor răzeși din Bălăbănești, lîngă Bîrlad; elev silitor al liceului local, Roșca Codreanu, membru foarte activ al asociației elevilor, (constituită în soceitate academică, literar-științifică, condusă de profesori și denumită după numele întemeietorului ei: Societatea Stroe Beloescu), pasionat cititor, înzestrat cu o curiozitate cu totul ieșită din comun, o foame neostoită de cunoaștere a esenței, caracteristică omului de știință înnăscut.

După ce și-a luat bacalaureatul, în 1908, pleacă la Iași să-și continuie studiile la universitate, lucru nu prea simplu pentru un tînăr lipsit de mijloace. Student sărac, este cu greu acceptat pedagog la Liceul Internat și aceasta numai datorită profesorului Vasile Bogrea, care i-a înțeles și apriga dorință de a învăța și mizera sărăcie care îi stătea în cale.

În primul an este înscris la științele naturale și la medicină. Nesatisfăcut de calitatea învățămîntului științelor naturale, dezamăgit de idolul său, profesorul Paul Bujor (bîrlădean și el) care dădea mai multă atenție politicii decît catedrei, lipsit de bursa la care rîvnea, Procopiu abandonează științele vieții pentru a se cantona în științele materiei, conștient că avea în față un obstacol imposibil de ocolit: matematicile, cărora le acordase în școală doar o atenție nepreferențială, cum ar fi trebuit dacă din timp s-ar fi gîndit să apuce pe această cale. Acest handicap nu l-a împiedicat, totuși, să-și ia toate examenele din prima sesiune, la matematici chiar cu brio, căpătînd și bursa dorită. Cei o sută de lei îi puteau acoperi cheltuielile de hrană, de găzduire și de buzunar și îi asigurau libertatea de a studia, cel mai important lucru pentru el.

În timpul studenției, așa cum rezultă din însemnările sale, urmărește revistele mari de specialitate, își notează toate noutățile, iar la fiecare din articolele conspectate, își scrie în carnet: nu cumva se poate și altfel? (cînd se raportează la generale) sau: nu cumva se poate și așa? (cînd are o idee personală). O adevărată metodologie pregătitoare anunțînd pe omul de știință.

Avea ca profesor pe Dragomir Hurmuzescu, doctor în fizică la Sorbona, înclinat spre și preocupat de aplicațiile fizicii în practică, în tehnică; lucrase ca asistent al profesorului Gabriel Lippmann, fostul său conducător al doctoratului, care îl influențase în acest sens. Hurmuzescu instalase primul aparat Roentgen în Franța și împreună cu medicul Gh. Marinescu, aflat și el la studii la Paris, au realizat primele radiografii. Ajuns profesor la Universitatea din Iași, a înființat în 1912 Școala de Electricitate pe lîngă Facultatea de Științe. Atașamentul lui Procopiu față de acest profesor care îi îngăduia să monteze în laborator experiențe imaginate de el pentru a vedea dacă ,,nu cumva se poate și așa'', l-a convins de importanța și utilitatea abordării fizicii experimentale.

În pragul licenței, în 1912, Ștefan Procopiu elaborează expresia momentului magnetic al electronului sub forma $M = he/4m$ (în care h este constanta lui Planck, e sarcina electronului, m masa acestuia), numit magnetonul Bohr-Procopiu (Determination du moment magnétique moléculaire par la théorie des quante de Planck, în ,,Analele Academiei Române, 1913). Ștefan Procopiu a continuat cercetările în această direcție: în 1924 a publicat ,,Sur le magnéton de Bohr'' în Journale de Physiques, Paris; în 1954 a stabilit o metodă de determinare experimentală a magnetonului perfecționată printr-o metodă de rezonanță (Determination de la valeur du magnéton de Bohr par une méthode de resonance dans l'air ionisé, în Comptes rendus Académie de Science Paris, 1957), completată în 1963 cu o determinare în vid.

În 1913, ca asistent al profesorului Hurmuzescu, Procopiu pleacă la București, însoțindu-și profesorul numit director al Institutului Electrotehnic de pe lîngă Universitatea Capitalei. Lui Procopiu i se încredințează cursul de măsuri și erori.

În timpul primului război mondial, 1916—1918, este mobilizat la un corp de aerostație, la Iași, unde se interesează de instalarea unui post T.F.S. (telegrafie fără sîrmă — cum se zicea pe atunci) și inventează un aparat de depistarea gloanțelor în rănile soldaților. În 1919 publică *Perpetuum mobile și principiile energiei*, carte premiată de Academie, reprezentînd primul său contact afișat cu probleme ale energiei. În aceeași perioadă se prezintă la examenul de capacitate pentru a fi atestat profesor în învățămîntul liceal și este numit profesor de fizică la liceul Roșca Codreanu, dar nu se mai prezintă la post pentru că la îndemnul lui Hurmuzescu se înscrie la concurs pentru o bursă a Academiei. Obținînd bursa, în 1920 pleacă la Paris cu recomandare către Gabriel Lippmann pentru pregătirea doctoratului. Un an după aceasta Lippmann moare și Procopiu continuă să lucreze teza sub conducerea profesorului Aimé Cotton, studiind birefringența magnetică și electrică a suspensiilor cristaline și coloidale supuse unui cîmp magnetic sau electric. La 5 martie 1924 își susține teza în fața unei comisii formată din profesorii: Aimé Cotton, Charles Fabry și Henri Mouton și devine doctor în științe fizice al Sorbonei.

★

Revenit în țară o inexplicabilă răceală a relațiilor cu profesorul Hurmuzescu îl îndepărtează atît de universitatea din București, cît și de cea din Cernăuți. Universitatea ieșeană este însă mult mai deschisă valorilor reale; în baza articolului 81 din legea învățămîntului superior, referitor la autonomia universității, îl cheamă să ocupe, fără concurs, postul de profesor titular la catedra de gravitație, căldură și electricitate, conform propunerii profesorului Petre Bogdan, rectorul Universității. La 25 ianuarie 1925 se instalează deci la Iași, își organizează laboratorul și un

cabinet de lucru în care își petrece cea mai mare parte din timp, dăruindu-se cu pasiune cercetării și catedrei. Predilecția sa pentru fizica experimentală îl conduce la lucrări din foarte diverse domenii ale fizicii și la activități care îl apropie de tehnică, mai ales de electrotehnică, implicit de energetică.

Ștefan Procopiu a fost decan al Facultății de Științe al Universității din Iași, membru corespondent și titular al Academiei Române, doctor honoris cauza al Institutului Politehnic Iași.

Deși fizician, Ștefan Procopiu s-a apropiat și de tehnică, în specialitate energetică.

Membru al Consiliului de administrație al Societății comunale de electricitate din Iași a fost sfătuitor util, mai ales în perioada de renovare și modernizare a centralei electrice, constînd în înlocuirea grupurilor vechi prin grupuri diesel electrice.

În 1938 s-a înființat Institutul Politehnic Gheorghe Asachi, iar meritele științifice ale lui Ștefan Procopiu l-au impus ca primul decan al Facultății de Electrotehnică.

A fost și membru al Institutului Român de Energie, publicînd în colecția acestuia lucrarea „Ce este electricitatea?".

Astfel, cînd în 1937 Institutul de Electrotehnică și Chimie Industrială se separă de Universitate și devine o Politehnică de sine stătătoare, Ștefan Procopiu, recunoscut ca eminent profesor și bun organizator, devine primul decan al Facultății de Electrotehnică, pertinent cunoscător al problemelor tehnice ca membru, încă din 1934, al Consiliului de Administrație al Uzinelor Comunale, Iași, unde s-a interesat de motoarele diesel, de generatoarele electrice și de tracțiunea electrică, Societatea avînd în grijă și rețeaua liniilor de tramvai.

Abia după acest contact îndelung cu aplicațiile fizicii și cu problemele inginerești, Procopiu și-a publicat tratatele sale de *Electricitate și magnetism* (vol. I și II — 1939) și de *Termodinamică* (1942) devenite manuale de referință.

Între acestea, prof. Procopiu s-a ocupat în îndelungatul răstimp al prodigioasei sale activități de cercetare, de problemele magnetismului terestru, descoperind legea de variație a momentului magnetic al pămîntului. În 1921 descoperă fenomenul depolarizării longitudinale a luminii emergente care străbate soluțiile coloidale și suspensiile cristaline, important fenomen pentru studiul precipitării acestor soluții, precum și pentru studiul structurii protoplasmei vii, cunoscut pe plan mondial ca fenomenul Procopiu. În 1929, ocupîndu-se de efectul Barkhausen, descoperă discontinuitatea magnetizării unui fir feromagnetic cînd trece prin el un curent electric alternativ. Este ceea ce comunitatea științifică internațională a numit efectul Procopiu, a cărui importanță s-a relevat abia în timpul din urmă contînd ca o posibilă ameliorare a structurii memoriei calculatoarelor electronice. Procopiu are descoperiri decisive în spectroscopie, în optică, în electrochimie, în termodinamică, însumînd peste o sută de lucrări de strictă specialitate, publicate în cele mai mari și mai cunoscute reviste științifice, printre care:

Recherches espérimentales sur le phénomène de Barkhausen. In: Ann. Sci. Univ. Jassy, 1929;

Sur l'effet Barkhausen interne. In: Bull. Sci. Acad. Roumaine, 1932.

Le moment magnétique de la Terre a commencé a croître. T. Geophisical Research, Washington, 1955.

Dispersion optique de la biréfringence électrique des suspensions colloidales de pentoxide de vanadium et de benzopurpurine. Compt. Rend. Académie Paris; 1972.

Mare fizician, Ștefan Procopiu nu era un savant claustrat în sanctuarul științei. Membru în comitetul de lectură al Teatrului Național, era prieten cu poeții și scriitorii, iubea artele (muzica și pictura) într-așa măsură încît o discuție despre Arnold Böcklin (1827—1901) pictorul elvețian al scenelor mitologice, l-a hotărît la vîrsta maturității să ia de soție pe profesoara de filozofie cu care întreținuse discuția. Eseist la marginile fizicii, biograf al oamenilor de știință excepționali, iubea istoria, dar nu și politica, avînd un cult pentru Ștefan-cel-Mare. Ștefan Procopiu era o personalitate complexă, o figură culturală de prim ordin înscrisă în palmaresul UNESCO, care sărbătorește anul acesta centenarul Procopiu.

NOUTAȚI

De la Comitetul Național Român de Iluminat (CNRI)

RECONSTITUIREA COMITETULUI NAȚIONAL ROMÂN DE ILUMINAT

La 6 februarie 1990 a avut loc ședința de reconstituire a Comitetului Național Român de Iluminat (CNRI), organism tehnico-științific nepolitic, destinat schimbului de idei și informații referitoare la știința, tehnica și arta luminii și iluminatului pe plan național și internațional.

Termenii de lumină și iluminat cuprind atît aspectele fundamentale ale domeniului (vederea, fotometria, calorimetria, radiațiile naturale din spectrul vizibil și zonele alăturate), cît și cele aplicative ale utilizării luminii în interiorul și exteriorul construcțiilor, atît efectele de mediu în conexiune cu cele estetice, precum și modurile și dispozitivele de producere și orientare a radiațiilor vizibile și a celor din zonele U.V. și I.R.

Comitetul Național Român de Iluminat (CNRI) a fost creat în urmă cu 32 ani pe lîngă Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor (CNIT). De la înființarea sa, CNRI a fost afiliat la Comitetul Internațional de Iluminat (CIE-Commission International de l'Eclairage), pînă în 1987 cînd a fost suspendat pentru neplata cotizației.

CIE a fost înființat în urmă cu 77 de ani, în componența sa intrînd comitetele naționale. Scopul său a fost și este cooperarea și schimbul de idei și informații între țările membre în toate problemele care se referă la știința, arta și tehnologia luminii, avînd ca obiectiv și realizarea unui sistem internațional de studii și asigurarea unui sistem internațional de acorduri norme și recomandări. CNRI urmărește aceleași obiective ca și CIE, realizînd în conexiunea între preocupările tehnico-științifice ale specialiștilor racordate la schimbul de idei și informații pe plan internațional în domeniul luminii și luminotehnicii și artei iluminatului.

Pe baza experienței și structurii internaționale, activitatea CNRI se desfășoară conform statutului său analog cu cel al CIE (prezentat mai departe), fiind organizată în șapte divizii (comisii) :

— divizia 1 : vedere și culoare ;
— divizia a 2-a : măsurări fizice ;
— divizia a 3-a : iluminatul interior ;
— divizia a 4-a : iluminatul în transporturi ;
— divizia a 5-a : iluminatul exterior ;
— divizia a 6-a : fotobiologie ;
— divizia a 7-a : aspecte generale.

CNRI a asigurat direct sau indirect participarea la manifestările naționale tehnico-științifice, ca :

— seminarele anuale de luminotehnică desfășurate la Institutul de Construcții București (ICB), organizate de CNRI și colectivul de iluminat și instalații electrice din cadrul ICB ;

— conferințele de instalații în cadrul secției de iluminat instalații electrice și automatizări ;

— manifestările ocazionale ale diferitelor întreprinderi cu profil de iluminat (sesiunile științifice ale institutelor de învățămînt superior, în special Institutul de Construcții, care are preocupări de tradiție în domeniu, Intreprinderea Electrobanat Timișoara, unul din susținătorii cei mai activi ai CNRI, Electrofar ș.a.) ;

— organizarea de simpozioane și conferințe proprii cu caracter neperiodic (ultimul fiind simpozionul român-francez București 1971).

De asemenea, a participat, prezentînd și lucrări, la manifestări internaționale din care menționăm :

— Europa Lux 1 Strasbourg 1969 — 2 lucrări ;
— Europa Lux 2 Bruxelles 1973 — o lucrare ;
— Europa Lux 3 Florența 1977 — 2 participanți ;
— Congresul CIE 1967 Washington (1967) — 1 participant ;
— Congresul CIE 1971 Barcelona — 2 lucrări ;
— Congresul CIE 1975 Londra — o lucrare ;
— Congresul CIE Kyoto — 2 participanți ;
— Europa Lux 4 Granada — o lucrare ;
— Lighting 1984 Varna — o lucrare :

Prin afilierea sa la CIE, CNRI face posibil accesul specialiștilor din România care lucrează în domeniul luminii și iluminatului la cele mai noi realizări științifice pe plan mondial, la normele și recomandările internaționale a căror respectare este obligatorie pentru competitivitate tehnică în plan internațional.

Prin aplicarea experienței CNRI și CIE, precum și a recomandărilor CIE în învățămîntul superior, în cercetare și proiectare s-au elaborat lucrări moderne de studii și cercetare în luminotehnica fundamentală și aplicativă, proiectarea modernă a sistemelor de iluminat noi, precum și modernizarea acelor clădiri vechi, dar reprezentative, lucrări care au avut ca scop creșterea nivelului tehnic și științific în domeniu.

Trebuie subliniat în mod deosebit că întreprinderile de corpuri de iluminat și surse de lumină (Electrobanat, Electrofar, Romlux și Steaua Electrică) pot oferi produse competitive numai prin respectarea normelor și recomandărilor CIE.

De asemenea, aceleași condiții sînt valabile și pentru Secția de specialitate a Institutului Național de Metrologie.

Iată cîteva din realizările CNRI și a factorilor implicați în această activitate :

— introducerea unor metode noi, moderne, cu caracter original în proiectarea și optimizarea soluțiilor de iluminat interior (Institutul de Construcții București, Facultatea de Electrotehnică, Institutul de Igienă și Protecția Muncii) ;

— studiul microclimatului luminos confortabil, element determinant pentru productivitatea muncii (Institutul de Construcții București, Institutul de Studii și Cercetări Științifice pentru Protecția Muncii, Institutul de Cercetări în Construcții ș.a.) ;

— modernizarea calculului iluminatului exterior rutier pe baza conceptului de luminanță și optimizarea sistemelor de iluminat (Institutul de Construcții, ICEMENERG, IDEB) ;

— utilizarea recomandărilor CIE pentru proiectarea și modernizarea echipamentului pentru iluminat (ELBA, ELECTROFAR, ROMLUX).

În ultimii ani s-a produs o degradare substanțială a sistemelor de iluminat, determinată în primul rînd de linia impusă „de sus" de reducere arbitrară a nivelurilor de iluminare și a scăderii masive a producției de surse de lumină cu descărcări. Această măsură necontrolată și nefundamentată, generată de lipsa de cultură tehnică și de arbitrar a dus la insatisfacție vizuală și estetică, provocînd scăderea calității și cantității (productivității) muncii fizice și intelectuale.

Nu trebuie uitat, însă, că și nivelul exploatării sistemelor de iluminat în România nu a fost niciodată la nivelul concepției și execuției ; cu rare excepții, instalațiile noi, eficiente și estetice s-au degradat rapid printr-o exploatare necorespunzătoare și necalificată. Atîta timp cît nu se vor creea și în țara noastră servicii calificate de întreținere a sistemelor de iluminat nu se va putea realiza o menținere în timp a acestora.

Menționăm că CNRI în seminarele și întîlnirile de lucru, în unele publicații și prin majoritatea membrilor săi a semnalat dezacordul său față de măsurile arbitrare, militînd pentru respectarea condițiilor de confort vizual cel puțin la nivel minim, economiile energetice putînd fi realizate, în principal, prin utilizarea surselor de lumină noi și o exploatare a sistemelor de iluminat interior și exterior.

După reconstituirea din 6.02.1990, CNRI a obținut la cerere, prin sentința nr. 874 din 22.03.1990 a Judecătoriei Sectorului 1 București, înscrierea ca persoană juridică pe baza legii 21/1924 și 52/1945.

Sediul CNRI și biblioteca sa se află la Facultatea de Instalații, Bd. Republicii 176, în cadrul colectivului de iluminat și instalații electrice. CNRI aduce mulțumiri senatului Institutului de Construcții București și conducerii Facultății de Instalații pentru această facilitate. De asemenea, CNRI mulțumește Ministerului Industriei Electrotehnice și Electronice care și-a dat acordul pentru sprijinirea CNRI în vederea reafilierii la CIE și susținerii sale valutare în achitarea cotizației anuale (adresa nr. 64026 15.03.1990).

CNRI a adresat la 29.03.1990 cererea oficială de înscriere în CIE, care a fost trimisă de către secretarul executiv dr. J. Schanda în anchetă la toate țările membre ale CIE, în așa fel încît să se obțină votul pînă la 30.06.1990.

Menționăm că în ianuarie-februarie 1990 CNRI a trimis scrisori la majoritatea comitetelor din Europa ,solicitînd sprijinul în revenirea în CIE și ajutor în documentație, reviste ș.a.

CNRI mulțumește comitetelor și personalităților care au răspuns acestei solicitări, și anume :

— Comisiei Internaționale de Iluminat (prof. dr. rer. nat. Hans Bodmann — președinte și dr. Jonas Schanda — secretar, James Earl Jewell — tresorier) ;

— Comitetului Național de Iluminat — R.F.G. ;
— Comitetului Național de Iluminat — Austria ;
— Asociației Franceze de Iluminat — Franța ;
— Comitetului Național de Iluminat — Cehoslovacia ;
— Comitetului Național de Iluminat — Ungaria ;
— revistei Lux — Paris ;
— reprezentantei PHILIPS — Austria ;
— firmelor STAFF (Austria), Techniques Actuelle (Franța), Modulator (Franța), care au răspuns solicitărilor noastre.

De asemenea, mulțumește personalităților următoare pentru sprijinul informațional :

— prof. dr. ing. Jurgen Krochmann președinte al Comitetului de Iluminat din R.F.G. (pentru sprijinul deosebit de azi și din ultimii ani în documentație și punerea la dispoziție a setului său de lucrări științifice) ;
— dr. Friedrich Rotter (președintele Comitetului de Iluminat din Austria) ;
— conf. dr. ing. Patrick Vandeplanque de la Universitatea Tehnică din Bethune (Lille) (Franța) ;
— profesor Marc la Toison (Franța) ;
— dipl. ing. G. Debreczeni secretarul comitetului de iluminat din Ungaria.

CNRI își propune realizarea primei conferințe naționale de iluminat cu participare internațională, în 16—17 noiembrie 1990 (ILUMINAT'90), ce urmează să se desfășoare la București la sediul său din cadrul Facultății de Instalații.

De asemenea, pentru viitorul apropiat se dorește realizarea unei publicații periodice (anuale sau semestriale) care să faciliteze schimbul de idei și informații, fără a se renunța la buletinul informativ anual CNRI.

Prof. dr. ing. CORNEL BIANCHI
Institutul de Construcții, București

SEMINAR ȘTIINȚIFIC DE ILUMINAT

La 15 decembrie 1989 s-a desfășurat, la Aeroportul Internațional Otopeni, Seminarul Științific de Luminotehnică cu tema : „Realizări în domeniul sistemelor de iluminat".

Seminarul, ajuns la a șaptea ediție cu caracter național, a fost organizat de Colectivul de iluminat și instalații electrice (CIIE) din cadrul Catedrei de electrotehnică, cu sprijinul conducerii Institutului de Construcții și al Facultății de Instalații, în colaborare cu Comitetul Național Român de Iluminat (CNRI) și Direcția Aviației Civile (BDTRA).

Lucrările s-au desfășurat în două etape, partea I cuprinzînd prezentarea referatelor (16), iar partea a II-a ședința Comitetului Național Român de Iluminat.

La invitația Direcției Aviației Civile — BDTRA lucrările s-au desfășurat în cadrul Aeroportului Internațional Otopeni, în condiții deosebite.

Colectivul de iluminat și instalații electrice (CIIE) a prezentat cinci referate, care au reflectat preocupările sale :

— Contribuții la studiul unor sisteme de iluminat complexe multifuncționale ;

— Realizarea unui îndrumător de proiectare a sistemelor de iluminat interior și exterior în colaborare cu ICSPM la solicitarea MEE ;

— Contribuțiile colectivului la metodele de calcul ale iluminatului ;

— Modelarea matematică a sistemelor și analiza lor prin calcul automat ;

— Implementarea unor surse de lumină noi cu eficacitate luminoasă mare.

S-au prezentat, de asemenea, contribuțiile unor institute de proiectare centrale (ISLGC și PROIECT București) pentru soluții de sisteme de iluminat.

În domeniul sistemelor de iluminat specializate Direcția Aviației Civile — BDTRA a prezentat detaliat, de la concepție și pînă la realizare, echipamentul de dirijare și semnalizare pentru aterizare și decolare în condițiile de iluminare naturală redusă, seară sau noapte. Se menționează caracterul deosebit al acestui echipament de calitate, aerat și obținut cu contribuția întreprinderilor românești.

Întreprinderile producătoare de surse de lumină și corpuri de iluminat (ELECTROFAR, ROMLUX, ELECTROBANAT) și ICPE au prezentat problemele specifice de realizare a unor echipamente noi (lampă fluorescentă compactă, corpuri de iluminat interior de producție și concepție modernă, corpuri de iluminat pentru medii și utilizări speciale (anti-ax, centrala nucleară) corpuri de iluminat specializate pentru transporturi ș.a. S-au prezentat, de asemenea, realizările TIAB—AG în instalațiile realizate în țară și străinătate, pentru sistemele de iluminat industriale.

După prezentarea referatelor au urmat fructuoase discuții de specialitate, în special în partea II-a, relevîndu-se utilitatea seminarului, schimbul util de idei și informații, precum și contribuția adusă de Colectivul de iluminat și instalații electrice din ICB la consolidarea și dezvoltarea școlii superioare românești de iluminat.

S-au adus mulțumiri conducerii ICB, facultății și colectivului care promovează și organizează anual această manifestare.

S-au adus mulțumiri Direcției Aviației Civile — BDTRA pentru deosebita găzduire, grijă și amabilitate și pentru cadrul inedit oferit desfășurării.

A urmat apoi vizitarea expoziției cuprinzînd sistemul românesc balizaj (ROMBAL), urmată de o vizitare în direct (în nocturnă) a pistei de decolare și aterizare OTOPENI 2 realizată cu echipament românesc.

În continuare s-a desfășurat ședința anuală a Comitetului Național Român de Iluminat, prezidată de C. Bianchi, conform ordinii de zi din programul anexat.

La manifestare au participat 67 specialiști din învățămîntul superior, proiectare, cercetare, producție, execuție, exploatare și studenți (din 25 de instituții din capitală și din țară).

Lista lucrărilor prezentate

1. Studiu asupra sistemelor de iluminat multifuncțional (C. Bianchi, C. Nae — CIIE—ICB)

2. Aspecte practice privind utilizarea metodei reflexiilor multiple pentru determinarea iluminărilor medii pe planul util, pereți și tavan în încăperile paralelipipedice (N. Mira — CIIE—ICB).

3. Modelarea matematică a sistemelor de iluminat și tratarea lor prin calcul automat (D. Moroldo — CIIE—ICB).

4. Studiu asupra unui îndrumător pentru proiectarea sistemelor de iluminat (C. Bianchi — CIIE—ICB, Eugenia Sufrim — ICSP).

5. Sisteme de iluminat pentru construcții social-culturale (V. Marinescu — IPC).

6. Instalații de iluminat pentru complexe social-culturale (C. Chioreanu — ISLGC).

7. Realizări în domeniul sistemelor de iluminat la Institutul PROIECT-București (Adriana Herasim — IPB).

8. Analiză asupra implementării lămpilor cu vapori de sodiu produse în România (Răzvan Pecingină — CIIE—ICB).

9. Noutăți în producția de corpuri de iluminat la ELECTROBANAT — Timișoara (L. Oberst — ELBA).

10. Eficiența introducerii în iluminatul interior a lămpilor fluorescente compacte (Vlad Lucian, Monica Enescu — — ELECTROFAR).

11. Realizări și perspective în domeniul surselor de lumină la întreprinderea ROMLUX — Tîrgoviște (N. Boboc — ROMLUX).

12. Tehnologii noi în domeniul realizării dispersoarelor pentru corpurile de iluminat (I. Cecălțeanu — I.S. Turda).

13. Echipament pentru iluminatul pistelor de decolare-aterizare de construcție românească realizat cu respectarea normelor aviației civile (I. Păscuț Ioan C-tin G. Pintilie, A. Mînzăraru D. Av. Civile — BDTRA).

14. Sistem unitar de montare a corpurilor de iluminat (V. Alexandrescu — TIAB—AG).

Prof. dr. ing. CORNEL BIANCHI

SESIUNEA CIGRE 1992

Recent a fost anunțată lista subiectelor preferențiale pentru Sesiunea CIGRE 1992 pe care o publicăm în continuare.

Comitetul Național Român al CIGRE (CNR—CIGRE) nu dispune încă de un contingent de rapoarte pentru sesiune avînd în vedere că a fost abia recent recunoscut după revoluție. Cu toate acestea se pot face propuneri din partea CNR, care să fie avute în vedere în contingentul președinților comitetelor de studii CIGRE. Aceste propuneri vor fi, evident, supuse unei selecții foarte riguroase.

În consecință cei care doresc să facă o propunere valoroasă de raport pentru sesiunea CIGRE 1992 sînt rugați să procedeze după cum urmează :

— să stabilească titlul și să redacteze un rezumat de maximum 500 cuvinte, în limbile franceză și engleză, în cîte două exemplare ;

— rezumatul va trebui să scoată în evidență esența subiectului tratat și caracterul de noutate al lucrării ;

— să indice în mod obligatoriu subiectul preferențial în care se încadrează propunerea de raport ;

— să transmită materialul, cel mai tîrziu pînă la data de 15 martie 1991, pe adresa : Comitetul Național Român al CIGRE, în atenția d-nei Lidia Barbu C/O ICEMENERG, Bd. Energeticienilor, 8 R—74568 BUCUREȘTI.

Președinte CNR — CIGRE,
dr. ing. CĂLIN MIHAILEANU

LISTA SUBIECTELOR PREFERENȚIALE

Comitetul de studii 11 „Mașini rotative"

1. Noi realizări și experiențe privind mașinile, inclusiv:
   1.1. Mașini cu viteză variabilă alimentate cu convertizoare
   1.2. Generatoare asincrone
   1.3. Diverse alte realizări
2. Comparații privind concepția, întreținerea și exploatarea și privind fiabilitatea turbogeneratoarelor răcite cu aer, comparate cu cele răcite cu hidrogen pentru puteri nominale apropiate de 250 MVA
3. Experiența privind prelungirea duratei de viață a turbo și hidrogeneratoarelor și a motoarelor mari, inclusiv:
   3.1. Importanța și culegerea informațiilor privitoare la istoria mașinii
   3.2. Progresele și aplicațiile în domeniul supravegherii, diagnozei și întreținerii
   3.3. Modernizarea, ameliorarea performanțelor și fiabilității

Comitetul de studii 12 „Transformatoare"

1. Principalele cerințe legate de întreținerea transformatoarelor în timpul funcționării :
   — diagnoza stării și supravegherea echipamentelor;
   — estimarea duratei de viață;
   — fiabilitatea;
   — mărirea duratei de viață;
   — modernizarea și înlocuirea instalațiilor.
2. Exigențe recente în domeniul încercărilor, evaluarea și consecințele acestora asupra normelor:
   — încercări la șoc, tehnici de înregistrare și analiză;
   — încercări cu tensiune indusă, nivel de tensiune, durată de aplicare și exigențe referitoare la descărcările parțiale;
   — nivelul sonor, măsurarea intensităților sonore, zgomotele înfășurărilor, solicitări reglementare și exigențe;
   — tendințe viitoare.
3. Modelarea transformatorului, în special în ceea ce privește:
   — exploatarea transformatoarelor în regim de dezechilibru de tensiuni inclusiv în timpul manevrelor de punere și scoatere de sub tensiune;
   — comportarea la frecvențe înalte, inclusiv răspunsul la regimuri tranzitorii extrarapide:
   — comportarea termică în condiții de sarcină variabilă.

Comitetul de studii 13 „Echipamente de comutație"

1. Fiabilitatea întrerupătoarelor
   — filosofia întreținerii; punctul de vedere al exploatării;
   — mărirea duratei de funcționare și creșterea performanțelor întreruptoarelor după o funcționare îndelungată, ținînd seama de evoluția condițiilor de sistem și de aspectele economice. Punctul de vedere al exploatării;
   — îmbătrînirea întreruptoarelor și probleme referitoare la controlul stării lor și la metodele de diagnoză.
2. Metode de încercări sintetice pentru verificarea puterii de întrerupere a întreruptoarelor:
   — experiența referitoare la toate schemele de încercări sintetice;
   — noi scheme de încercări, monofazate, trifazate, încercări în două părți;
   — scheme de încercare pentru întreruperea sarcinilor capacitive;
   — scheme de încercare pentru întreruptoarele capsulate;
   — aplicarea și limitarea circuitelor de încercare sintetice;
   — valabilitatea normelor recomandate pentru încercări sintetice.
3. Condiții de funcționare normală și specială pentru echipamente de întrerupere i. t.
   — condiții defavorabile în sistem care pot genera dificultăți;
   — temperaturi înalte și joase;
   — experiența de exploatare privind condițiile normale și speciale stabilite de norme;
   — compararea condițiilor stabilite de norme și a limitelor de siguranță;
   — posibilități de solicitări mai mari decît în condițiile stabilite de norme.

Comitetul de studii 14 „Legături în curent continuu"

1. Noi tehnologii, inclusiv rețetele adaptabile de transport în curent alternativ.
2. Integrarea sistemelor multiterminale în rețelele de curent alternativ, inclusiv efectele datorate rețelelor de curent alternativ de putere mică.
3. Fiabilitatea

Comitetul de studii 15 „Materiale izolante"

1. Sesiune comună a comitetelor de studii 12 și 15:
   Fenomene electrostatice în transformatoare:
   — evaluarea comportamentului electrostatic al componentului electrostatic al componentelor izolației, individual sau în combinație;
   — separarea sarcinilor și acumularea lor pe suprafețele izolante și în dielectrice lichide;

— practici pentru atenuarea încărcării cu electricitate statică în timpul funcționării;
— experiența privind defectele inexplicabile în care se suspectează apariția electricității statice.

2. Sesiune comună a comitetelor de studii 15 și 21;
Stadiul încercărilor de arborescență a umidității din echipamente și cabluri (fiecare grupă de lucru va prezenta cîte un raport separat).

3. Sesiune comună a comitetelor de studii 15 și 23:
Eficiența diagnozei și încercărilor de AQ la posturile capsulate

4 Efectul de interfață al sistemelor de izolație solide, inclusiv izolatoarele compozite
Fiecare din aceste subiecte preferențiale va fi tratat un sfert de zi în cursul sesiunii grupei 15.

Comitetul de studii 21 „Cabluri izolate de înaltă tensiune"

1. Noi studii și experiențe în funcționarea cablurilor î. t. cu izolație extrudată (de exemplu, cablurile care au sau nu mijloc de etanșeizare față de apă/umiditate, experiențe cu gradienți electrici ridicați, metode de diagnoză).
2. Stadiul actual și tendințele viitoare în domeniul tehnologiilor accesoriilor pentru cablurile î. t. (de exemplu, experiența privind terminalele „uscate", accesoriile prefabricate și înșirabile, utilizarea proiectării și exploatării asistate de calculator.
3. Legătura prin cabluri î. t. (de exemplu, legătura de mare putere la tensiune alternativă sau continuă, cabluri cu fibre optice integrate sau asociate pentru transferul de date și supraveghere).

Comitetul de studii 22 „Linii electrice aeriene"

1. Dimensionarea termică a conductoarelor de fază și de protecție :
   — dimensionarea termică în regim static și dinamic;
   — dimensionarea la scurtcircuit;
   — utilizarea datelor meteorologice la exploatarea rețelelor.
2. Dreptul de utilizare a culoarelor :
   — consecințele schimbărilor de legislație;
   — utilizarea mai eficientă a culoarelor existente;
   — metode de reconstrucție și înlocuire a liniilor vechi cu durate și costuri minime.
3. Diagnoza componentelor :
   — evaluarea stării și a speranței de viață a liniilor vechi;
   — tehnici de diagnoză;
   — stabilirea evoluției condițiilor climatice.

Comitetul de studii 23 „Stații"

1. Fiabilitatea și disponibilitatea stațiilor :
Problema generală este modul de a măsura, a ameliora și de utilizare cu folos a indicatorilor de fiabilitate și disponibilitate. Ea poate cuprinde :
   — concepția, structura montajului stației, considerată ca un subsistem al rețelei (incluzînd părțile electrice din centrale);
   — politica sau opțiunea privind modul de organizare a întreținerii, metodele de estimare a costurilor, sistemele de informații, instruirea personalului, structura echipelor și utilizarea diferitelor proceduri cum ar fi lucrul sub tensiune;
   — coordonarea componentelor, acțiuni pentru îmbunătățirea fiabilității, probleme de perturbații și de adaptare între echipamentele de î.t. și sistemele de circuite secundare (protecții, comandă, servicii auxiliare);
   — situații diverse : exploatare de probă, funcționare normală sau în condiții excepționale (de exemplu, perioade de lucrări de modernizare, faze de extindere, catastrofe climatice, evenimente legate de crize sociale);
   — avantajele economice ale echipamentelor cu fiabilitate și disponibilitate crescută, ale structurilor și concepției privind metodele de exploatare.

2. Recepția stațiilor
Momentul și modalitățile de transfer ale unei instalații către exploatare, după montaj, constituie o perioadă critică. Este important să se găsească cea mai bună procedură. Aceasta se poate referi la :
   — încercările in situ, efectele asigurării calității, coordonarea încercărilor părților de î.t., j.t. sau ale echipamentelor de telecomunicații;
   — transferul de responsabilitate și limitele acesteia între constructori, proiectanți, beneficiari și alte organizații;
   — diferite tipuri sau etape în viața stației : stare nouă, parțial modernizată, extinsă etc.;
   — proceduri de reparare sau de ameliorare impuse de apariția unor defectări.

Comitetul de studii 33 „Supratensiuni și coordonarea izolației"

1. Impactul încercărilor in situ și controlul posturilor capsulate legal de cordonarea izolației :
   — raport privind stadiul problematicii (noul Grup de lucru 33/23);
   — proceduri de încercare și alegerea nivelurilor de tensiune;
   — condiții de control (în timp real sau nu);
   — implicații pentru coordonarea izolației posturilor capsulate.

2. Aplicarea exigențelor referitoare la proiectarea descărcătoarelor cu oxizi metalici :
   — solicitări electrice și termice ale descărcătoarelor cu oxizi metalici
   — capacități de absorbție a energiei (caracteristici neacoperite de încercările actuale)
   — aplicații fază/fază și fază/pămînt
   — perspective de creștere a tensiunii rețelei

Comitetul de studii 34 „Protecții"

1. Exploatarea, întreținerea și conducerea sistemelor de protecție :
   — experiența și tendințe în exploatarea echipamentelor de protecție : achiziționarea și prelucrarea datelor
   — experiențe și tendințe în întreținerea și încercările echipamentelor de protecție
   — evaluarea performanțelor protecțiilor în caz de avarii și și de perturbații în sistem, cît și în exploatarea normală
2. Dezvoltări ale sistemelor de protecție și comandă locale :
   — protecția și comanda rețelelor de transport adaptative
   — aplicarea sistemelor expert la protecții și la comenzi locale.

Comitetul de studii 35 „Telecomunicații"

1.a. Dezvoltarea mijloacelor de transmisie pentru telecomunicații în sistemele energetice, inclusiv metodele bazate pe utilizarea frecvențelor purtătoare, a legăturilor radioelectrice, fibre optice și radiostații mobile

b. Concepția și proiectarea rețelelor de telecomunicații cu ajutorul acestor mijloace sau al altora, cu accent pe rețelele integrate (pentru frecvențe vocale, date, telecomandă etc.)

c. Controlul și conducerea rețelelor de telecomunicații. Programe de calcul specifice rețelelor de telecomunicații.

2.a. Experiența și tendințele viitoare privind rețelele de telecomandă, inclusiv sistemele multinivel. Sisteme ca calculatoare distribuite pe centre de comandă

b. Condiții și criterii de performanță. Exemple de sisteme practice, inclusiv planificarea și procedurile încercărilor de recepție. Performanțele reale. Dezvoltări în domeniul transmisiei de date pentru telecomandă, inclusiv semnalizarea protecțiilor.

c. Mentenabilitatea (siguranța în funcționare), a sistemelor de telecomandă, inslusiv programe de calcul și legături pentru transmisia datelor. Considerații privind echipamentele și problemele legate de întreținere

sau organizare (de exemplu, aparatură, gestiune, proceduri, statistici, diagnoze la distanță).

Comitetul de studii 36 „Perturbații"

1. Caracterizare și măsurători de mediu electromagnetic la fenomene permanente și tranzitorii rezultate din sistemele electroenergetice
2. Tehnici de atenuare a perturbațiilor provenite din sistem și din instalațiile unităților de exploatare ale abonaților
3. Probleme de compatibilitate electromagnetică în sistemele de măsură, protecție și de comandă și control ale instalațiilor electrice, inclusiv în sisteme de control distribuite.

Comitetul de studii 38 „Analiza și tehnologia sistemelor"

1. Utilizarea practică a sistemelor expert pentru planificarea și exploatarea sistemelor
2. Metode disponibile în cadrul planificării și exploatării sistemelor pentru evaluarea acestora sub aspectul limitelor de stabilitate, riscului de prăbușire a tensiunii și altor fenomene restrictive
3. Metode și mijloace de ameliorare a performanțelor și a capacității de transport a rețelei bazate pe noi concepte de gestionare a tranzitelor cuprinzînd comanda automatizată a rețelei.

Comitetul de studii 39 „Exploatarea și conducerea sistemelor"

1. Problema îmbătrînirii centrelor de comandă, în special modernizarea acestora în comparație cu întreținerea continuă și impactul unor tehnologii și metode de organizare moderne
2. Impactul interconexiunii crescînde a sistemelor necesitată sporirea schimburilor de energie; evoluția structurilor organizatorice în conducerea sistemelor; exigențe privind schimbul de date
3. Comanda la avarie și aplicarea schemelor parțiale pentru îmbunătățirea siguranței sistemelor.

Stimați cititori,

Din motive independente de redacție apariția ultimelor numere ale revistei Energetica (lunile august — decembrie) sînt mult întîrziate. Redacția revistei face toate demersurile necesare penru a recupera întîrzierile și speră că cititorii săi fideli vor înțelege situația dificilă, dar trecătoare pe care o traversăm în prezent.

Totodată, vă anunțăm că vă puteți reînnoi abonamentul la revista ENERGETICA pentru anul 1991.

Stimaţi cititori şi colaboratori!

În dorinţa de a satisface în măsură din ce în ce mai mare aşteptările specialiştilor, începînd cu anul 1991, activitatea redacţională, editorială şi în general administrarea revistei ENERGETICA se va face în cadrul Editurii Tehnice, instituţie editorială specializată, bine cunoscută.

Revista ENERGETICA îşi va păstra periodicitatea, apărînd lunar, însă alternativ, în două serii :

— *Seria A* în care se vor dezbate probleme din domeniile : centrale electrice, orientări şi politici de dezvoltare a producerii energiei electrice, surse reînnoibile, conversii de energie, tehnologii chimice specifice centralelor electrice, poluarea mediului ambiant, alimentarea cu căldură, termoenergetica, industrială, automatica specifică centralelor electrice, alte probleme ;

— *Seria B* care va cuprinde : partea electrică a centralelor, reţele şi staţii electrice, electroenergetica industrială, dezvoltarea sistemelor electroenergetice, alte probleme aferente şi specifice.

Preţul unui abonament anual pentru abonaţii particulari va fi de : 400 lei pentru ambele serii (A şi B) şi 200 lei pentru o serie (A sau B).

Preţul abonamentului anual pentru instituţii şi întreprinderi va fi de 1020 lei pentru ambele serii (nu se fac decît abonamente pentru ambele serii).

Preţul de vînzare al unui exemplar din oricare serie va fi de 35 lei.

Pentru efectuarea abonamentelor, doritorii sînt rugaţi să completeze unul din formularele alăturate, după caz, şi să le trimită la adresa indicată, după ce au depus contravaloarea abonamentelor.

DIRECTOR,

dr. ing. Ioan Ganea

Pentru abonamente personale

. . . . . .

Către Editura Tehnică, Bucureşti Piaţa Presei Libere nr. 1 sector I C.P. 71341 *„PENTRU REVISTA „ENERGETICA"*

Mă abonez la revista ENERGETICA pentru anul 1991

la ambele serii	400 lei
la seria A	200 lei (se taie ce nu corespunde)
la seria B	200 lei

Doresc să primesc revista la adresa :

Numele . . . . . .Prenumele . . . . . Profesia, Titlul, Funcţia . . . . . Localitatea . . . . . Judeţul/Sectorul . . . . . Strada . . . . . .Nr . . . . . .Bloc . . . . . .Scara. . . .Etaj . . .Ap . . . cod poştal . . . . . Telefon . . . . . .

Am achitat contravaloarea abonamentului de lei . . . . . prin :

— mandat poştal nr. . . . . .din . . . . . .pe adresa Editurii Tehnice (pentru revista Energetica)

— dispoziţie de plată nr. . . . . din . . . . . în contul Editurii Tehnice nr. 645181330—BNR, filiala sector 1.

— direct la filiala Editurii Tehnice din str : Oteteleşanu nr. 1, Bucureşti, sector 1, C.P. 70702 (tel. 158866) cu chitanţa nr. . . . . .din . . . . . .

Data . . . . . .

Semnătura

Pentru abonament la instituţii/întreprinderi

. . . . . .

Către Editura Tehnică, Bucureţti. Piaţa Presei Libere nr. 1 sector I, C.P. 71341 *PENTRU REVISTA „ENERGETICA"*

Solicităm . . . . . .abonamente la revista ENERGETICA pentru anul 1991.

Adresa la care vor fi expediate revistele :

Instituţia/Întreprinderea . . . . . .

Localitatea . . . . . Judeţul/Sectorul . . . . . .

Strada . . . . . .Nr. . . . . .C.P. . . . . .

Telefon . . . . . .

Suma de lei . . . . . .reprezentînd contravaloarea celor . . . . . .abonamente s-a achitat în contul Editurii Tehnice, la nr. 64 51 81 330 BN România, Sectorul I, prin mandatul poştal nr. . . . . .din . . . .

Semnătura conducătorului instituţiei/întreprinderii

Contabil şef

Data . . . . . Nr. . . . . .

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА В ЕКОНОМИЧЕСКИХ ЕДИНИЦАХ

ВАСИЛЕ ДУША: Проблема улучшения коэффициента мощности в промышленных предприятиях 337—340

МИХАЕЛА ИОРДАКЕ: Метод оценки поведения ванн для обработки металлических поверхностей под влияни ем напряжения питающей электросети 340—345

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

СТЕЛИАН ПОПЕСКУ: Правильная оценкачувствительности защиты в областях резерва 346—349

МИХАИ МОГА: Представление индукционных двигателей динамическими характеристиками мощности в зависинмсти от частоты и напряжения 349—355

ХАРАЛАМБИЕ КРИСТЯ: Частота — параметр качества надежности и экономичности режимов работы Национальной Энергосистемы 356—360

СЕБАСТИАН ИОНЕСКУ: Модель синхронной машины для моделирования динамических режимов в крупных энергосистемах 361—364

МАГДАЛЕНА МАТЕЙ, КРИСТИНА ДИКУ, ЛУЧИАН МАТЕЙ, ПЕТРА ДОРДЯ, АУРОРА КРЕЦУ, АЛИНА МАНОЛЕСКУ, МИХАЙ ПРЕКУП: Влияние факторов, зависящих от характеристик топлива на интенсивность эрозионного процесса теплообменных поверхностей паровых котлов 365—370

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ТРАЯН-Г. ИОНЕСКУ, КАРМЕН ГОЛОВАНОВ, ПАУЛ МАНОЛЕСКУ, РОКСАНА ОПРЯ: Методы определения коэффициента обратной несимметрии напряжения 371—376

ХИМИЯ И ЭНЕРГЕТИКА

КОРНЕЛ УНГУРЯНУ, ИОАНА ИОНЕЛ: О технологии сжигания тяжелого мазута 377—381

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

КАЮС ЯКОБ: 200 лет со дня рождения Августина — Луи Коши 382—383

ПАУЛ КАРТИАНУ: Ганс Тиет — проделжительная и полная свершений карьера 384

О ЛИЧНОСТЯХ

ЧЕЗАР БУДА: Физик Штефан Прокопиу и энергетика 385—386

ОТ РУМЫНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА

КОРНЕЛ БИАНКИ: Восстановление Румынского Национального Комитета Освещения. Научный семинар по освдщению 387—389

ОТ РУМЫНСКОГО НБЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА ЧИГРЕ

КЭЛИН МИХЭЙЛЯНУ: Сесси яЧИГРЕ 1992 390—392

ИЗ МИРОВОИ ЭНЕРГЕТИКИ 364

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT DER BETRIEBE

VASILE DUŞA: Die Frage der Verbesserung das Leistungsfaktors in den Industriebetrieben 337—340

MIHAELA IORDACHE: Eine Methode zur Einschätzung des Verhaltens von Bädern zur Behandlung von Metallfächen unter dem Einfluss der Netzspeisespannung 340—345

DIE LEITUNG UND DIE AUTOMATIK DES ELEKTRISCHEN VERBUNDSYSTEMS

STELIAN POPESCU: Prozessrichtige Einschätzung der Empfindlichkeit von Schutzanlagen in den Reserve-Bereichen 346—349

MIHAI MOGA: Die Darstellung von Induktionsmotoren durch spannungs-frequenzabhängige dynamische Charakteristiken 349—355

HARALAMBIE CRISTEA: Die Frequenz als Qualitätsparameter der betriebssicheren und sparsamen Fahrweisen des nationalen Energieverbundsystems 356—360

SEBASTIAN IONESCU: Ein Modell der Synchronmaschine zur Simulation dynamischer Regimes in Elektroenergie-Gross-Systemen 361—364

WÄRMEKRAFTWERKE

MAGDALENA MATEI, CRISTINA DICU, LUCIAN MATEI, PĂTRA DORDEA, AURORA CREŢU, ALINA MANOLESCU, MIHAI PRECUP: Der Einfluss der von Kernwerten des Brennstoffs abhängigen Faktoren auf die Stärke des Erosionsprozesses der Wärmetauscherflächen der Dampferzeuger 365—370

ELEKTRISCHE NETZE

TRAIAN-G. IONESCU, CARMEN GOLOVANOV, PAUL MANOLESCU, ROXANA OPREA: Methoden zur Bestimmung des Koeffizienten der umgekehrten Spannungsunsymmetrie 371—376

KRAFTWERKSCHEMIE

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL: Zur Verfeuerungstechnologie von Schweröl 377—381

GESCHICHTE DER ELEKTRIFIKATION

CAIUS IACOB: 200 Zahre seit der Geburt von Augustin—Louis Cauchy 382—383

PAUL CARTIANU: Hans Thiess — eine lange, ergebnisreiche Karriere 384

DE PERSONIS

CEZAR BUDA: Der Physiker Ştefan Procopiu und die Energiewirtschaft 385—386

NEUIGKEITEN

VOM RUMÄNISCHEN NATIONALKOMITEE FÜR BELEUCHTUNG

CORNEL BIANCHI: Die Wiederherstellung des Rumänischen Nationalkomitees für Beleuchtung. Wissenschaftliches Seminar für Beleuchtung 387—389

VON DER NATIONALKOMITEE DER CIGRE

CĂLIN MIHĂILEARNU: CIGRE-Tagung 1992 390—392

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN RUMÄNIEN 364

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

VASILE DUȘA : Power Factor Improvement Within the Industrial Plants 337—340

MIHAELA IORDACHE : Method of Assessing the Behaviour of the Metallic Surfaces Treatment Baths Under the Voltage Influence of the Power Supply Network 340—345

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

STELIAN POPESCU: The Correct Estimation of the Protections' Sensitivity Within the Stand-by Areas 346—349

MIHAI MOGA : Representation of the Induction Motors with Power Dynamic Characteristics, Function of Voltage and Frequency 349—355

HARALAMBIE CRISTEA: Frequency, a Quality Parameter of the Safe and Economic Operating Regimes of the National Power System 356—360

SEBASTIAN IONESCU: Sychronous Engine Model for the Dynamic Regimes Simulation in Large Sized Energy Systems 361—364

THERMAL POWER PLANTS

MAGDALENA MATEI, CRISTINA DICU, LUCIAN MATEI, PĂTRA DORDEA, AURORA CREȚU, ALINA MANOLESCU, MIHAI PRECUP : Fuel Properties Dependent Factors Influence on the Heat-Transfer Surfaces Erosion Strength in the Steam Boiler 365—370

ELECTRIC NETWORK

TRAIAN—G. IONESCU, CARMEN GOLOVANOV, PAUL MANOLESCU, ROXANA OPREA : Method of Assessment or the Reverse Voltage Unsymmetrical Coefficient 371—376

CHEMICAL TECHNOLOGIES

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL : On the Heavy Oil Combustion Technology 377—381

THE HISTORY OF ENERGY

CAIUS IACOB: 200 Years Since the Birth of Augustin-Louis Cauchy 382—383

PAUL CARTIANU: Hans Thiess — A Long and Fruitful Career 384

DE PERSONIS

CEZAR BUDA: The Physicíst Ștefan Procopiu and the Energetics 385—38 6

NEWS

FROM THE NATIONAL ROMANIAN COMMITTEE FOR LIGHTING

CORNEL BIANCHI : Reconstitution of the National Romanian Committee for Lighting. Scientific Workshop on Lighting 387—389

FROM THE NATIONAL COMMITEE OF CIGRE

CĂLIN MIHĂILEANU : Session CIGRE 1992 390—392

ENERGY WORLDWIDE 364

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

VASILE DUȘA : Le problème de l'amélioration du facteur de puissance dans les entreprises industrielles. 337—340

MIHAELA IORDACHE : Méthode pour l'estimation du comportament des bains de traitement des surfaces métalliques sous l'influence de la tension du réseau. 340—345

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

STELIAN POPESCU: Estimation correcte de la sensibilité des protections dans les zones de reserve 346—349

MIHAI MOGA: Représentation des moteurs d'induction par des caractéristique dynamiques de puissance, fonction de la tension et de la fréquence 349—355

HARALAMBIE CRISTEA: La fréquence, un paramètre de qualité des régimes surs et économiques de fonctionnement du Système Energétique National 356—360

SEBASTIAN IONESCU: Modèle de la machine synchrone pour la simulation des régimes dynamiques dans les systèmes électroénergétiques à grandes dimensions 361—364

CENTRALES THERMIQUES

MAGDALENA MATEI, CRISTINA DICU, LUCIAN MATEI PĂTRA DORDEA, AURORA CREȚU, ALINA MANOLESCU, MIHAI PRECUP : L'influence des facteurs dépendants des caractéristiques du combustible sur l'intensité du processus d'érosion des surfaces de transmission thermique des chaudières à vapeur 365—370

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

TRAIAN G. IONESCU, CARMEN GOLOVANOV, PAUL MANOLESCU, ROXANA OPREA : Méthodes de détermination du coefficient de non-symétrie inverse de tension 371—376

TECHNOLOGIES CHIMIQUES. COMBAT CONTRE LA POLLUTION

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL : Sur la technologie de la combustion de l'huile combustible lourde 377—381

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

CAIUS IACOB : Bicentenaire de l'anniversaire de August'n-Louis Cauchy 382—383

PAUL CARTIANU: Hans Thiess — Une longue et prodigieuse carrière 384

DE PERSONIS

CEZAR BUDA: Le physicien Ștefan Procopiu et l'énergétique 385—386

NOUVEAUTÉS

DU COMITÉ NATIONAL ROUMAIN DE L'ECLAIRAGE

CORNEL BIANCHI : La reconstitution du Comité National Roumain d'Eclairage. Seminaire Scientifique de l'Eclairage 387—389

DE LA PART DE COMITÉ NATIONAL CIGRE

CĂLIN MIHĂILEANU : La Session de la CIGRE 1992 390—392

L'ENERGIE DANS LE MONDE 364

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor șef: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori șefi adjuncți: **dr. ing. Radu Enache, dr. ing. Cezar Ionescu**

Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Reprezentantul RENEL: **ing. Radu Opincaru**

Orientări în energetică. Economia energetică: **dr. ing. Mario Duma, ing. Anton Vlădoiu**

Energetica în unități economice: **ing. Alexandru Florescu, dr. ing. Adrian Badea**

Dezvoltarea sistemului electroenergetic: **dr. ing. George Manolescu, dr. ing. Andrei Cristovici**

Conducerea și automatica sistemului energetic: **ing. Iuliu Blechtal, dr. ing. Marius Pomârleanu**

Centrale termoelectrice: **dr. ing. Costin Moțiu, dr. ing. Dan Goliciu**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Valeriu Nistreanu, dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Gabriel Romașcu, ing. Alexandru Mihăilă, ing. Alecu Marian**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, dr. ing. Laurențiu Goia**

Alimentare cu căldură: **dr. ing. Victor Athanasovici, ing. Nicolae Niculescu**

Surse noi de energie: **ing. Constantin Popescu, ing. Gheorghe Voicu**

Chimia în energetică: **dr. chim. Maria Maftei, chim. Mihai Chirica**

Protecția mediului: **ing. Margarios Salgian, ing. Cornel Moțiu**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Terminologia în energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți; **ing. Paul Rașcu, dr. ing. Virgil Mușatescu, ing. Anton Roșu**

Centre universitare:

Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată, prof. dr. ing. Dumitru Ivas**

Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru, prof. dr. ing. Iuliu Heinrich**

Redactor: **Ana Maria Chivu**

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review „Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review „Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review „Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy of other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the wordwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA —sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București—România.**

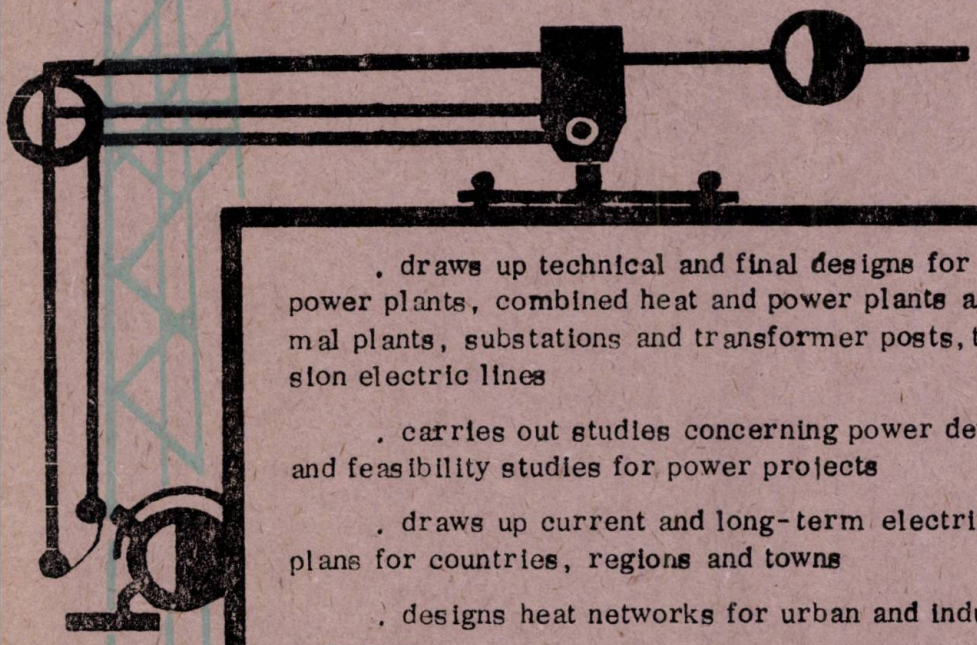
Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Universul",
București, str. Brezoianu 23—25 cd. 2328

ISPE

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr. 1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power system

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :



. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

ER energoreparații
Bd. Mărășești nr. 2, sector 4, 75117 București, Telefon 232640, Telex 10635

EXECUTA

- PIESE DE SCHIMB, SUBANSAMBLURI DE SCHIMB SI RECONDITIONARI PENTRU TURBINE CU ABUR, TURBINE HIDRAULICE, MASINI SI INSTALATII AUXILIARE
- MACARALE, MECANISME DE RIDICAT, DISPOZITIVE PENTRU MECANIZARE SI SCULE SPECIALE PENTRU REPARAREA INSTALATIILOR ENERGETICE
- PLATFORME RIDICATOARE TELESCOPICE SAU CU BRATE, PENTRU LUCRU LA INALTIMI PINA LA 27 m
- ECHIPAMENTE PENTRU MONTAREA CONDUCTOARELOR LEA PRIN TRAGERE CU FIR PILOT
- ECHIPAMENTE PENTRU INVESTITII SAU PENTRU MODERNIZAREA INSTALATIILOR ENERGETICE
- SERVICII EXPERTIZE PENTRU VIBRATII, ECHILIBRARI DINAMICE IN FUNCTIONARE, VERIFICARI SPECTROGRAFICE RAPIDE, ANALIZE CHIMICE SI METALOGRAFICE, PROIECTARE CONSTRUCTIVA SI TEHNOLOGICA PENTRU PIESE DE SCHIMB SI RECONDITIONARI ETC.

E 2039

MW

10—12

R 1991 -07- 19

Cuprins

CONDUCEREA ŞI AUTOMATICA SISTEMELOR ENERGETICE

HARALAMBIE CRISTEA: **Probe de performanţă şi identificarea modelului matematic SRAV la turbina K-200-130 CTE Iernut** 397—401

HORIA MĂRIEŞ: **Compatibilitatea electromagnetică în cazul echipamentelor numerice** 401—407

CENTRALE TERMOELECTRICE

JEANA MONICA SAVA: **Metodologia de determinare a debitului de abur intrat în turbinele de condensaţie, în regimuri nenominale. Mărimi ce caracterizează destinderea în turbină** 408—411

ION NICOLAU: **Ventil de închidere rapidă pentru o turbină cu abur de medie putere** 411—416

DAN GOLICIU, GABRIEL NEGREANU: **Influenţa înrăutăţirii randamentului intern asupra consumului specific de căldură la turbina de tip DSL (VPT) — 50** 416—420

MIRCEA RĂDULESCU, VALERIU BANU, ANA NICULESCU: **Îmbunătăţirea instalaţiei de separare la tamburul unui cazan de 210 t/h** 420—424

REŢELE ELECTRICE

MIRCEA GUŞĂ, CONSTANTIN ASAFTEI, NICOLAE GAVRILAŞ, MARCEL ISTRATE: **Contribuţii privind semnalizarea locală a scurtcircuitelor în reţelele electrice aeriene de medie tensiune** 425—429

SURSE NOI

IOAN CARP: **Valorificarea surselor de căldură cu temperaturi scăzute în instalaţii cu absorbţie amoniac-apă** 430—432

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL, PAUL DAN OPRIŞA: **Tehnologii moderne pentru frînarea formării de NO_x în procesele de ardere din focarele cazanelor de abur** 433—439

STOIAN PETRESCU, ROXANA IORDACHE: **Optimizarea termică şi dimensională a receptorului de radiaţie solară tip cavitate cilindrică, ţinînd cont de randamentul de interceptie şi de diferenţa finită de temperatură între receptor şi fluidul de lucru** 440—446

CHIMIA ÎN ENERGETICĂ

LUCIAN NEGULESCU: **Consideraţii privind oportunitatea vaporizării în trepte la cazanele de abur din centralele electrice de termoficare** 447—454

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

CONSTANTIN OSTAP: **90 de ani de la darea în funcţiune a tramvaiului electric la Iaşi** 455—456

PAUL CARTIANU: **Organizarea activităţilor economice publice în trecut, cu privire spre viitor** 456—458

NOUTĂŢI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 424, 459—462

RECENZIE 463

DE PERSONIS 464—465

CUPRINS GENERAL AL REVISTEI ENERGETICA PE ANUL 1990 466—467

INDEX ALFABETIC AL AUTORILOR ARTICOLELOR APĂRUTE ÎN REVISTA ENERGETICA ÎN ANUL 1990 468—469

energetica

VOLUMUL XXXVIII

BUCUREŞTI

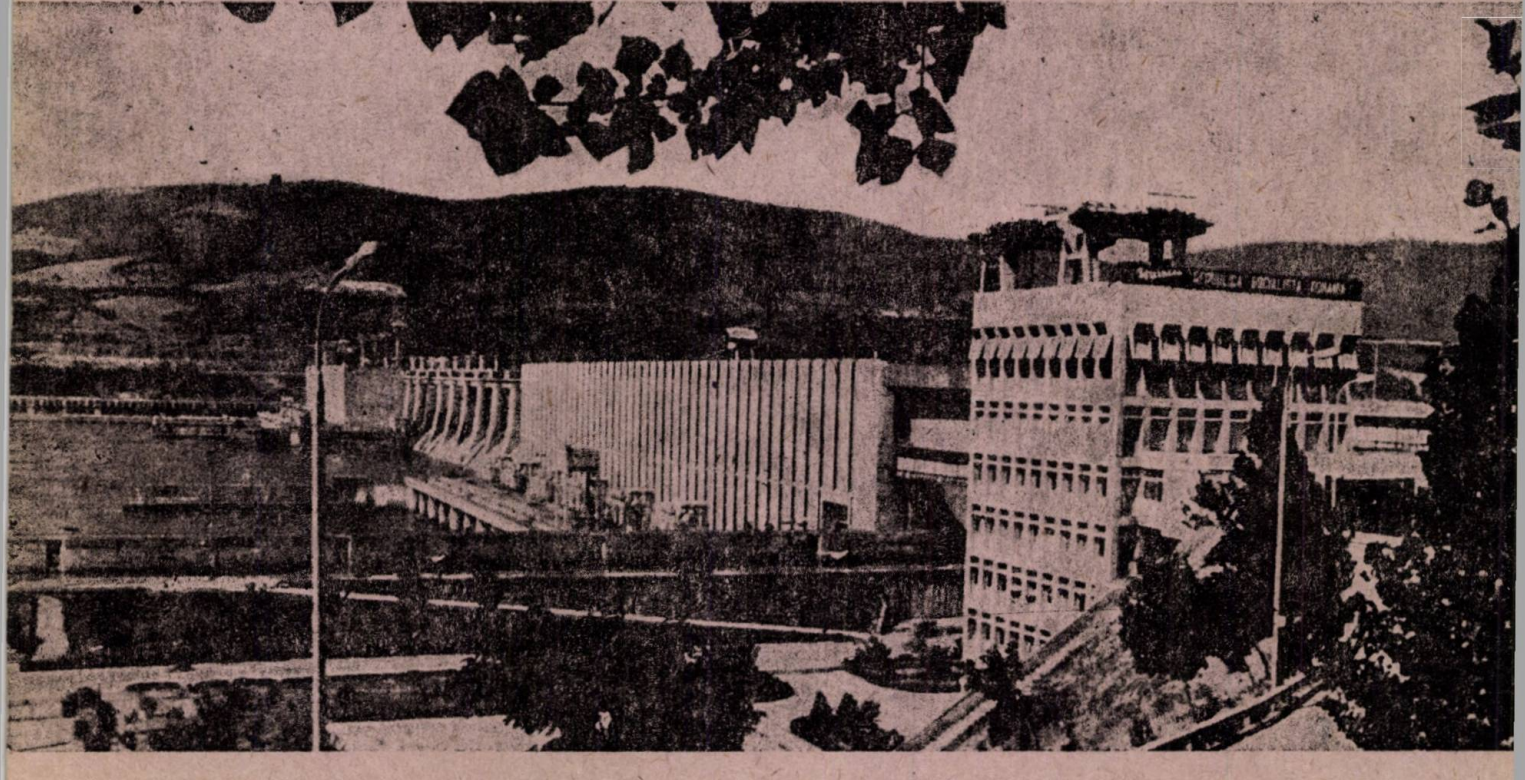
OCT — DEC 1990

TAGCH

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1 COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în țară și în străinătate amenajări hidroenergetice (baraje, tuneluri, centrale hidroelectrice) și lucrări hidrotehnice complexe.



1991 SEP 04

ENERGETICA

REVISTĂ DE SPECIALITATE A ENERGETICIENILR DIN ROMÂNIA

Anul 38 Nr. 10—12 Octombrie—Decembrie 1990

Conducerea şi automatica sistemelor energetice

Probe de performanţă şi identificarea modelului matematic SRAV la turbina K-200-130 CTE Iernut

Dr. ing. HARALAMBIE CRISTEA *

Descriptori: modele matematice, turbine cu abur

Lucrarea se referă la identificarea experimentală a modelului sistemului de reglare automatică a vitezei la turbină folosind înregistrările din probele de performanţă efectuate după reparaţia capitală a turbinei K—200 — 130 (TA5) CTE Iernut.

The paper deals with the experimental identification of the model of the automatic speed control system developed for the turbine and relying on the recordings from the performance tests carried out after the K—200—130 turbine overhaul of Iernut power plant.

Introducere

Structura vastă şi complexă a sistemelor electroenergetice a impus o activitate continuă a perfecţionării metodelor adaptate pentru analiza regimurilor (stărilor) de funcţionare pe modele matematice.

În accepţiunea de model al sistemului, pentru ansamblul instalaţiilor de producere, transport şi consum ale energiei electrice, se înţelege relaţia de interdependenţă funcţională dintre mărimile care determină starea elementelor componente, relaţie reprezentată în spaţiu şi timp. În scopul realizării posibilităţii previziunii stărilor sistemului şi al menţinerii controlului asupra evoluţiei acestuia în procesul dinamic se utilizează modele ale componentelor funcţionale pe baza cărora se întocmesc algoritme şi programe de calcul.

Metodele adoptate în calculul şi analiza regimurilor dinamice ale SEN sînt considerate liniare şi invariante pentru mici perturbaţii. Neliniarităţile introduse sînt insensibilităţile de tip prag şi histerezis.

Pe domeniul liniar de existenţă a funcţiei de dependenţă a variabilelor ieşire-intrare pe blocuri funcţionale identificarea se face în general începînd cu prima treaptă a cunoaşterii care este „structura modelului" exprimată în funcţie de identităţi matematice, scheme bloc, diagrame sau grafuri.

Lucrările efectuate de noi în domeniul identificării au avut în vedere „sistemele de reglare automată a excitaţiei (SRAE) şi „sistemele de reglare automată a vitezei (SRAV) pentru tipodimensiunile de medie şi mare putere din SEN.

Alegerea clasei de modele, de semnale de intrare $u(t)$ şi a criteriilor de echivalenţă a fost mult influenţată de cunoaşterea a priori a procesului, constituind strategie specifică pentru fiecare sistem identificat. În cele mai multe cazuri s-a mers pe identificarea experimentală în condiţii normale de exploatare introducînd semnalele deterministe de probă în regimul curent, luînd precauţiunile de rigoare în ceea ce priveşte observabilitatea. Din lipsa posibilităţii utilizării unor mijloace de filtrare a perturbaţiilor parazite amplitudinile semnalelor de intrare au provocat în general abateri ale variabilelor de stare în limitele maxime admise de proces.

În lucrarea de faţă se prezintă modul în care s-a efectuat identificarea unui sistem de reglare automată a vitezei la turbină de 200 MW echipate cu regulator mecano-hidraulic. Probele şi măsurătorile au fost efectuate la CTE Luduş şi folosim şi această ocazie să mulţumim specialiştilor din exploatare care ne-au creat condiţiile necesare şi au participat la efectuarea probelor.

Modelul sistemului identificat de noi este utilizat în calculele de regimuri dinamice ale SEN.

* Dr. ing. Haralambie Cristea — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti.

1. Determinarea strucțurii modelului SRAV

Turbina K — 200 — 130 este echipată cu regulator mecanohidraulic de tip tahoaccelerometric. Componenta tahometrică a consemnului de reglaj turație este obținută de traductorul de turație, care convertește variațiile de turație în variații ale presiunii ca purtătoare a informației de viteză. Componenta diferențială este dată de diferențiatorul introdus în circuitul hidrodinamic de comandă a servomotoarelor. Restul elementelor sistemului de reglare a vitezei sînt considerate cunoscute ca principiu constructiv funcțional. În figura 1 se prezintă structura pe blocuri funcționale a modelului.

2. Identificarea parametrică experimentală

La efectuarea probelor experimentale de identificare a parametrilor modelului matematic al SRAV s-a ținut seama de următoarele ipoteze :

— dificultățile existente privind accesul pentru măsurarea variabilelor de stare intrare-ieșire, ale unor blocuri ;

— regimurile de funcționare posibile în care să permită efectuarea probelor necesare ;

— crearea condițiilor de temperatură și presiune normale de funcționare pentru uleiul de reglaj ;

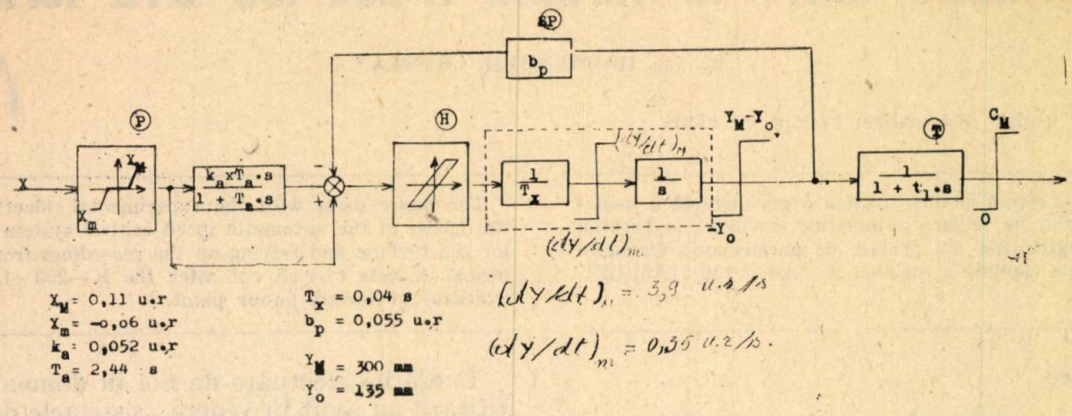


Fig. 1. Structura modelului SRAV pe blocuri funcționale : P-insensibilitatea de tip prag ; THA-blocul tahoaccelerometric ; H-insensibilitatea de tip histerezis ; SM-servomotor hidraulic ; T-turbina ; SP-statismul permanent.

Pe baza cunoștințelor apriorice asupra sistemului au fost stabilite structurile funcțiilor de transfer ale tuturor blocurilor funcționale ale căror modele matematice sînt scrise, cu excepția insensibilităților P și H ale căror expresii matematice sînt clasice. În felul acesta varianta inițială a structurii modelului matematic a fost stabilită. Această structură în general poate suferi modificări pe parcursul procesului de identificare, dar pentru cazul tratat faza aceasta a fost depășită.

Parametrii modelului SRAV astfel determinat, exprimați în unități relative, au semnificația :

- x — consemnul de viteză ;
- ε — valoarea pragului de insensibilitate ;
- k_a — factorul de amplificare al accelerometrului ;
- T_a — constanta de timp a blocului tahoaccelerometric ;
- T_x — timpul caracteristic promptitudinii servomotorului ;
- b_p — coeficientul de statism permanent ;
- t_1 — constanta de timp a turbinei ;
- C — cuplul mecanic.

— starea energetică locală și în sistem care să permită variații ale mărimilor de stare ca urmare a semnalelor perturbatoare de probă introduse.

2.1. Timpul de închidere—deschidere al ventilelor de reglaj

Semnalul de comandă (asimilat ca semnal treaptă) a ventilelor de reglaj (VR) a fost simulat prin impulsul de la dispozitivul de comandă dat manual sau de la sistemul de reglaj. Pe durata regimului tranzitoriu s-a înregistrat cu viteza de 10 mm/s deplasarea $Y(t)$ a tijei servomotorului de acționare a VR (fig. 2). Din prelucrarea grafoanalitică a cursei $Y(t)$ s-au determinat :

$T_d = 0{,}85$ s — timpul de deschidere ;
$T_i = 1$ s — timpul de închidere.

În situații de avarii ventilele de reglaj (admisie a aburului în turbină) trebuie să se deplaseze cu viteza maximă.

În figura 3 s-a înregistrat deplasarea tijei servomotorului ventilelor de reglaj la închidere comandată prin impuls de la declanșator. Pe

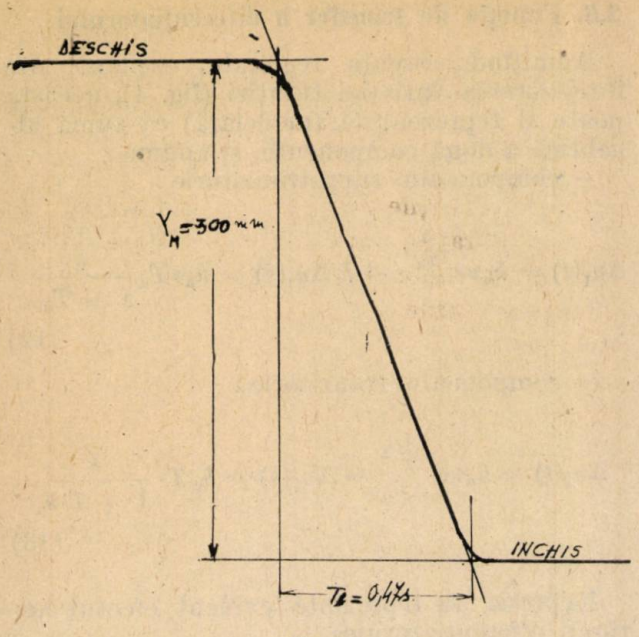


Fig. 2

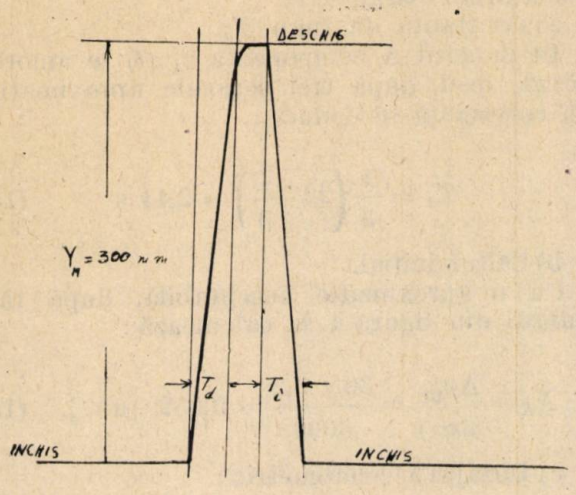


Fig. 3.

înregistrarea făcută cu viteza de 100 mm/s se poate citi direct pe diagramă: T_f — 0,47 s — timpul minim de închidere a VR.

2.2. Viteza de deplasare la acționare a VR

Viteza de deplasare este dată de expresia:

$$V = d_y/dt \ \text{[u.r/s.]}. \qquad (1)$$

Se disting trei valori tipice ale vitezei ventilului de reglaj, și anume:

a) viteza maximă de deplasare.

Folosind rezultatele obținute prin înregistrarea răspunsului turbinei în procesul de stabilire a parametrilor de gol, considerat ca răspuns indicial, din relația 1 scrisă în creșteri finite se obține:

$$V_{MAX} = \frac{\Delta Y}{\Delta t} = \frac{Y_M/(Y_M - Y_0)}{T_f} =$$

$$= \frac{110/(110 - 50)}{0{,}47} = 3{,}9\left[\frac{\text{u.r}}{\text{s}}\right]. \qquad (2)$$

b) viteza de cursă **la** închidere-deschidere:

$$V_i = \frac{\Delta Y}{T_i} = \frac{110/(110 - 50)}{1} = 1{,}83\left[\frac{\text{u.r}}{\text{s}}\right]. \qquad (3)$$

$$V_d = \frac{\Delta Y}{T_d} = \frac{110/(110-50)}{0{,}85} = 2{,}16\left[\frac{\text{u.r}}{\text{s}}\right]. \qquad (4)$$

c) viteza de regim normal de funcționare. Din aceeași diagramă din figura 4 se deduce:

$$V_r = \frac{\Delta Y}{\Delta t} = \frac{52/(110 - 50)}{7{,}5 \cdot \frac{1}{3}} = 0{,}35\left[\frac{\text{u.r}}{\text{s}}\right]. \qquad (5)$$

2.3. Timpul caracteristic promptitudinii regulatorului

Timpul caracteristic promptitudinii regulatorului este dat de relația:

$$T_x = \frac{n}{(dy/dt)}. \qquad (6)$$

Pentru a putea determina timpul caracteristic promptitudinii ar fi trebuit întreruptă bucla de reacție a statismului permanent. Considerînd viteza de deplasare a servomotorului VR în punctul A (fig. 4) ca viteză inițială fără reacție el s-ar fi deplasat pe distanța Y_0 în intervalul $t = 5\frac{1}{3}$ s.

Înlocuind în relația 6 datele obținute din prelucrarea grafo-analitică a înregistrărilor prezentate în figura 4 se obține:

$$T_x = \frac{6 \times 5{,}2}{3000} \Big/ \frac{12 \times 2{,}75}{165} \cdot \frac{4}{3} \cong 0{,}04 \text{ s}. \qquad (7)$$

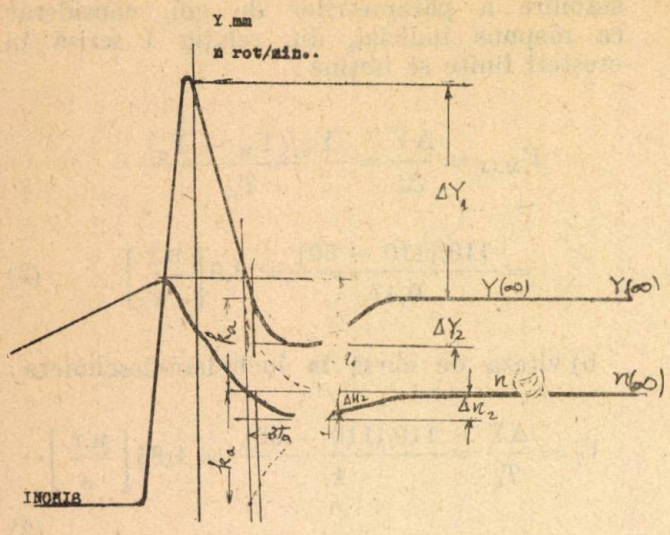


Fig. 4.

2.4. Statismul permanent

Statismul permanent reprezintă un parametru de regim staţionar şi se defineşte ca inversul valorii factorului de amplificare al regulatorului

$$b_p = \frac{1}{k} = \lim_{s \to 0} \frac{\Delta n(s)}{\Delta Y(s)} \text{ [u.r.]}. \qquad (8)$$

Din prelucrarea grafo-analitică a înregistrării din figura 4 se calculează valoarea statismului permanent, şi anume :

$$b_p = \frac{30 \times 5{,}2}{3000} \Big/ \frac{56{,}5 \times 2{,}75}{165} = 0{,}055 \text{ [u.r.]}. \qquad (9)$$

2.5. Coeficientul de suprareglaj

Suprareglajul reprezintă un indice de calitate al regimului tranzitoriu al SRAV şi se defineşte ca depăşirea maximă de către mărimea de ieşire în procesul regimului tranzitoriu, care apare în prima pseudoperioadă a oscilaţiei amortizate.

Acţiunea diferenţiatorului provoacă suprareglajul răspunsului care în cazul de faţă poate să fie determinat atît pe curba de variaţie a turaţiei, cît şi a cursei VR (fig. 4).

$$\sigma_y = \frac{\Delta Y_2}{\Delta Y_1} = \frac{12}{56{,}5} = 0{,}21 \text{ [u.r.]}. \qquad (10)$$

$$\sigma_n = \frac{\Delta n_2}{\Delta n_1} = \frac{6}{30} = 0{,}20 \text{ [u.r']}. \qquad (11)$$

2.6. Funcţia de transfer a diferenţiatorului

Admiţînd absenţa regimului oscilant, din înregistrarea variaţiei turaţiei (fig. 4), aceasta poate fi reprezentată (modelată) ca sumă algebrică a două componente, şi anume :

— componenta supratranzitorie :

$$\Delta n_1(t) = h_a * e^{-\frac{1}{T_a}t} \rightarrow h\,\Delta n_1(s) = h_a * T_a \frac{s}{1 + T_a s} \qquad (12)$$

— componenta tranzitorie :

$$\Delta n_2(t) = h_a * e^{-\frac{1}{T}t} \rightarrow \Delta n_2(s) = h_a T \cdot \frac{s}{1 + T \cdot s}. \qquad (13)$$

Expresia 12 reprezintă evident efectul acţiunii diferenţiatorului.

Forma răspunsului din figura 4 permite obţinerea cu aproximaţie destul de bună a următorilor parametri :

a) Constanta de timp T_a.

În punctul A componenta n_1 (t) se amortizează, deci, după trei perioade aproximativ. În consecinţă se deduce :

$$T_a = \frac{1}{3}\left(22 \cdot \frac{1}{3}\right) = 2{,}44 \text{ s} \qquad (14)$$

b) Saltul iniţial.

Cu o aproximaţie acceptabilă, după răspunsul din figura 4 se calculează :

$$N_K = \frac{\Delta n_{0+}}{n(\infty)} = \frac{30 \times 5{,}2}{3000} = 0{,}052 \text{ [u.r.]}. \qquad (15)$$

c) Dozajul accelerometric :

$$m = h_a \cdot T_a = 0{,}052 \times 2{,}44 = 0{,}127 \text{ [u.r.} \times \text{s]} \qquad (16)$$

Fără a aspira la o precizie ridicată, în cazul de faţă parametrii determinaţi mai sus pot fi acceptaţi pentru modelul SRAV.

Metodologia de identificare este practicabilă şi merită de reţinut că o precizie ridicată a valorilor parametrilor se obţine prin acurateţea cu care se efectuează probele, înregistrările şi prelucrarea acestora.

2.7. Limitele de variaţie ale consemnului de reglaj viteză

a) Limita maximă

$$X_M = \frac{n_1 - n_0}{n_0} = \frac{3300 - 3000}{3000} = 0{,}11 \text{ [u.r.]} \qquad (17)$$

n_M fiind prima treaptă de reglaj a protecției de suprarație.

b) Limita minimă:

$$X_m = \frac{n_m - n_0}{n_0} = \frac{2820 - 3000}{3000} = -0{,}06 \text{ [u.r.]}, \quad (18)$$

n_m fiind turația minimă tehnic admisă a turbinei pentru durate limitate.

Concluzii

Probele de performanță efectuate nu au avut drept scop direct identificarea modeului matematic al SRAV. Acestea au vizat verificarea mai multor parametri de comportare ai turbinei care influențează siguranța în funcționare.

Parametrii determinați prin identificare se înscriu în limitele valorilor acceptate în practică, ceea ce atestă comportarea corectă în exploatare a regulatorului.

Tehnologia de efectuare a acestor probe de performanță a urmat un scenariu utilizat curent de specialiștii din exploatare la punerea în funcțiune a agregatului după reparație. Partea de noutate a problemei constă în faptul că acestea au fost înregistrate de noi, ceea ce în mod curent nu se obișnuia.

Studiind documentația SRAV la turbina K—200—130 s-a constatat existența blocurilor specifice, ceea ce a permis predeterminarea structurii modelului pentru care s-a făcut identificarea parametrică. Deoarece la identificarea modelului nu au fost utilizate semnalele deterministe, pentru o serie de parametri au fost adoptate ipoteze care pot avea efect numai asupra preciziei parametrilor acestuia și nu asupra relațiilor de calcul utilizate.

Modelul matematic obținut în cadrul lucrării, prezentat sub forma adoptată a băncii de date a Dispecerului Energetic Național, poate fi utilizat în locul celui existent. Din analiza modelului matematic obținut se constată că valorile obținute ale parametrilor se înscriu în limitele celor curent utilizate.

Parametrii privind insensibilitatea (P), histereza (H) și constanta de timp a turbinei (t_1) nu au putut fi identificați din probele efectuate.

În concluzie, se recomandă efectuarea obligatorie a unor astfel de probe de performanță la agregatele energetice din centralele electrice după reparațiile capitale, cu înregistrarea rezultatelor. Această practică se înscrie ca un atribut al menținerii gradului de fiabilitate cerut de agregatele energetice.

Totodată se impune o analiză a nomenclatorului de probe și dotarea corespunzătoare cu aparatură modernă, de măsurare și înregistrare.

(Primit la 30 mai 1990, acceptat la 11 iulie 1990)

Compatibilitatea electromagnetică în cazul echipamentelor numerice

Ing. HORIA MĂRIEȘ*

Descriptori: echipamente numerice, performanțe

În articol se prezintă probleme actuale legate de natura perturbațiilor electromagnetice, sursa și efectele acestora, încercările de imunitate la care trebuie supuse aparatele, dispozitivele și echipamentele numerice ce funcționează în mediul puternic perturbator din stațiile de transformare.

The article describes the existing problems related with the nature of the electromagnetic disturbations, their sources and effects, the immunity tests to which the apparata have to be submitted, the digital devices and equipments running into transformer stations high disturbing medium.

Introducere

În viitorul apropiat, aparatele, dispozitivele și echipamentele realizate în tehnologie numerică vor fi utilizate în număr din ce în ce mai mare în stațiile de transformare, ele impunîndu-se prin performanțe tehnice deosebite, datorate progresului foarte rapid al microelectronicii.

Pentru aceste echipamente, mediul electromagnetic puternic perturbator din stațiile de transformare este un mediu ostil și, din acest motiv, problemele legate de perturbațiile și compatibilitatea electromagnetică constituie pentru specialiști un subiect de o foarte mare actualitate.

În articol se prezintă probleme legate de natura perturbațiilor electromagnetice și efectele acestora, încercările de imunitate la care

* Ing. Horia Mărieș — RENEL — DGTDEE

trebuie supuse aparatele dispozitivele şi echipamentele numerice, reglementările şi normele elaborate de către Comitetul Electrotehnic Internaţional — C.E.I. pe baza studiilor efectuate în cadrul acestui organism, precum şi a celor elaborate în cadrul C.I.G.R.E.

1. Compatibilitatea electromagnetică

Dicţionarul Electrotehnic Internaţional dă următoarea definiţie termenului de compatibilitate electromagnetică: „aptitudinea unui dispozitiv, a unui aparat sau a unui sistem de a funcţiona într-o manieră satisfăcătoare în mediul său electromagnetic, fără a produce el însuşi perturbaţii electromagnetice intolerabile pentru alte echipamente aflate în acel mediu".

Această definiţie scoate în evidenţă două aspecte fundamentale ale noţiunii de compatibilitate electromagnetică:

— pe de o parte, faptul că un echipament nu trebuie să producă perturbaţii ce depăşesc un anumit nivel tolerabil;

— pe de altă parte, faptul că toate echipamentele trebuie să prezinte un anumit nivel de imunitate.

Fiindcă atît perturbaţiile, cît şi nivelul de imunitate al unui echipament fac obiectul unei distribuţii statistice, se consideră că nivelul de compatibilitate electromagnetică este un nivel intermediar situat între nivelul de imunitate minim — definit prin nivelul de încercare — şi nivelul de perturbaţie maxim.

Se face distincţie între compatibilitatea electromagnetică şi nivelul de ţinere al izolaţiei, fiindcă:

— nivelul de ţinere al izolaţiei se referă la probleme legate de siguranţa în funcţionare; în cazul încercărilor corespunzătoare, echipamentele sînt scoase din funcţiune, iar valorile tensiunilor de încercare sînt superioare celor de la încercările de imunitate;

— efectele electromagnetice se referă la imunitatea echipamentelor; în timpul încercărilor corespunzătoare, ele se află în stare de funcţionare normală.

Se constată o anumită confuzie în interpretarea termenului de compatibilitate electromagnetică. Pentru unii specialişti, termenul are legătură numai cu perturbaţiile de înaltă frecvenţă asupra şi între echipamentele electronice, asupra transmisiunilor radio etc. Totuşi, la cealaltă extremitate a spectrului de frecvenţă — începînd cu curentul continuu sau cu frecvenţa industrială — există numeroase tipuri de perturbaţii electromagnetice ce afectează echipamentele de toate categoriile: echipamente de putere, de comandă-control, echipamente informatice. În cadrul C.E.I., termenul de compatibilitate electromagnetică a fost extins la toată gama de frecvenţe, de la curentul continuu pînă la frecvenţele de ordinul gigahertzilor.

2. Categorii de perturbaţii electromagnetice

Pentru a ordona studiul acestor fenomene, ele au fost împărţite în două grupe:

— cele ce sînt în legătură cu frecvenţa fundamentală a reţelei de energie electrică — în general fenomenele de „joasă frecvenţă" — — propagate pe liniile electrice;

— cele ce nu au legătură cu frecvenţa fundamentală a reţelei — în general fenomenele de „înaltă frecvenţă" — propagate pe linii sau induse în acestea.

Anumite fenomene apar doar în circuitele de forţă, altele apar atît în circuitele de forţă, cît şi în circuitele de comandă-control.

2.1. Armonici

Originea şi efectele armonicelor sînt cunoscute. Pentru alegerea corectă a nivelurilor de compatibilitate referitoare la armonici, este necesară cunoaşterea mărimii acestora în reţea şi, în particular, cunoaşterea distribuţiei statistice. Definirea distribuţiei statistice pentru fiecare armonică, pe ansamblul unei ţări, necesită un volum de muncă considerabil. În ţara noastră s-au efectuat pînă acum doar măsurători sporadice ce nu au beneficiat de aportul unor aparate de măsură cu o precizie ridicată.

Grupul de lucru 77/8 al C.E.I. a avut ca sarcină stabilirea nivelurilor de compatibilitate pentru reţelele de joasă tensiune şi a propus un set de valori pentru acestea. Nivelurile tensiunilor pentru încercările de imunitate pot avea valori de la 1,0 pînă la 1,5 ori nivelurile de compatibilitate propuse.

2.2. Interarmonici

Interarmonicele sînt frecvenţe „parazite" ce apar între diversele armonici. Ele sînt de trei tipuri:

— frecvenţe discrete produse de unele instalaţii electronice de putere (frecvenţe în banda laterală a armonicelor, de ex. $250 \pm f$ Hz, $350 \pm f$ Hz,..);

— spectru continuu în vecinătatea cuptoarelor cu arc, a instalaţiilor de sudură etc.;

— zgomot de fond cu amplitudine redusă, în locurile în care nu există instalaţii de tipul celor enumerate mai sus.

Principalele instalaţii perturbate sînt receptoarele de telecomandă centralizată şi din acest motiv, acestea determină în prezent nivelul de compatibilitate electromagnetică, fixat în plaja $0{,}1 \ldots 0{,}15\ U_n$.

2.3. Semnale sinusoidale

Sistemele ce utilizează reţeaua de energie electrică ca suport fizic de transmisiuni date pot fi împărţite în două categorii:

— cele ce utilizează un semnal sinusoidal suprapus peste frecvenţa fundamentală, diferenţiindu-se trei game de frecvenţe :

— de la 100 la 200 kHz în cazul telecomenzii centralizate ;

— de la 3 la 20 kHz, sistemele de medie frecvenţă pentru reţelele de medie şi joasă tensiune ;

— de la 20 la 150 kHz, sistemele la frecvenţe radio, pentru reţele de joasă tensiune ;

— cele ce utilizează un marcaj al undei tensiunii fundamentale (un „dinte" pe această undă sau o deplasare a trecerii prin zero).

Nivelurile uzuale pentru aceste semnale sînt :

— telecomanda centralizată : 2...5% U_n ;

— sisteme de medie frecvenţă : 1...2% U_n ;

— sisteme la frecvenţe radio : 0,5...5% U_n.

Influenţa acestor sisteme asupra echipamentelor numerice se poate asimila cu cea datorată perturbaţiilor armonice, încercările de imunitate fiind şi ele asemănătoare. Pe plan internaţional nu au fost încă fixate nivelurile de compatibilitate, există totuşi norme naţionale ce pot fi relevante în acest subiect.

În ce priveşte sistemele cu marcaj al undei de tensiune, efectele ce se pot produce — de ex. flickerul — nu necesită norme speciale, fiind suficient ca aceste sisteme să satisfacă normele generale.

2.4. Fluctuaţii rapide de tensiune

Fluctuaţiile rapide de tensiune sînt variaţii de amplitudine caracterizate prin faptul că :

— variaţia de tensiune se încadrează într-o anumită plajă definită prin normele de calitate a energiei electrice furnizate consumatorilor (de ex. $-10 \ldots +10\%\ U_n$) ;

— variaţia poate fi periodică, aleatoare, repetitivă sau izolată ;

— variaţia este rapidă (< 1 s.).

Fluctuaţiile de tensiune sînt produse de anumite instalaţii cum ar fi cuptoarele cu arc, aparatele de sudură, de anclanşarea motoarelor şi generează fenomenul cunoscut sub denumirea de flicker.

Dacă variaţiile rămîn în limite normale, aparatele sau echipamentele numerice nu sînt berturbate. Totuşi, datorită faptului că sensibilitatea aparatelor numerice este în creştere, grupul de lucru 77/3 al C.E.I. recomandă încercări la variaţii de tensiune de 8 % U_n, pacă aparatele sînt destinate reţelelor publice, sau de 15% U_n, dacă ele sînt destinate reţelelor industriale.

2.5. Căderi şi goluri de tensiune

Căderile de tensiune sînt caracterizate de diminuarea amplitudinii tensiunii în plaja $-10\% \ldots -100\%\ U_n$, pe durate cuprinse între 10 ms şi cîteva secunde. În cazul golurilor de tensiune are loc o diminuare totală a valorii amplitudinii.

Căderile şi golurile de tensiune sînt cauzate de defectele ce apar în reţeaua de energie electrică (reanclanşări rapide, defecte eliminate prin topirea siguranţelor, anclanşarea unor sarcini mari).

Calculatoarele personale şi în general echipamentele informatice utilizate în birotică sînt sensibile la aceste fenomene.

Studiile statistice efectuate în diverse ţări au relevat următoarele constatări generale :

— într-o reţea de medie tensiune, 40 pînă la 80% din căderile de tensiune sînt caracterizate de diminuarea amplitudinii cu 10 pînă la 20% din U_n ;

— pentru 70 pînă la 80% din cazuri, durata căderilor de tensiune este mai mică sau egală cu 320 ms.

Funcţie de durata fenomenului se disting următoarele cazuri :

— durate < 20 ms în cazul topirii siguranţelor de j.t. ;

— durate < 100 ms în cazul defectelor pe partea de înaltă tensiune şi în cazul fenomenelor de anclanşare a sarcinilor mari ;

— durate < 500 ms în cazul reanclanşărilor rapide în reţelele de medie tensiune aeriene ;

— durate de cîteva secunde în cazul altor defecte.

În acest context, grupul de lucru 77 B/3 al C.E.I. a propus ca durate de încercare valorile 20 ms, 100 ms, 500 ms, 2s, 30s, încercările efectuîndu-se cu căderi de tensiune de 100% şi acoperindu-se în acest fel şi cazul golurilor de tensiune. Se poate aborda noţiunea de compatibilitate, prescriind condiţia ca un echipament să fie insensibil sau să aibă o comportare determinată la un gol de tensiune avînd durata corespunzătoare unuia din cazurile menţionate mai sus.

2.6. Nesimetria tensiunilor

Regimul dezechilibrat (nesimetria tensiunilor) se datoreşte în principal prezenţei sarcinilor monofazate ce sînt racordate la o reţea electrică trifazată. Nesimetria se măsoară prin raportul între componenta inversă şi componenta directă de tensiune.

În reţele de j.t., ponderea tensiunii inverse nu depăşeşte 2% în circa 95% din cazuri, în reţele de m.t. ponderea este de la 1,2 la 1,5%, iar în reţele de înaltă tensiune este de 1%.

Grupul de lucru 77/8 al C.E.I. a fixat pentru reţelele de joasă tensiune un nivel de compatibilitate de 2%.

2.7. Fenomene tranzitorii

Sînt denumite fenomene tranzitorii supratensiunile sau alte fenomene de scurtă durată (< 10 ms), neperiodice, ce apar pe partea de

alimentare sau la intrările/ieşirile echipamentelor.

În general, fenomenele tranzitorii se clasifică în funcţie de tipul circuitelor în care apar şi de durata lor.

2.7.1. Fenomene în reţelele de distribuţie de j. t.

În aceste reţele, fenomenele tranzitorii se caracterizează prin faptul că ele se suprapun peste tensiunea alternativă a reţelei.

2.7.1.1. Fenomene tranzitorii cu durata lungă (> 0,1 ms)

Aceste fenomene sînt produse de fuziunea siguranţelor. Rezultă în general o undă unidirecţională a cărei amplitudine nu este foarte mare, dar care conţine o energie relativ ridicată, frontul undei fiind relativ lung (0,1 ms).

Datorită faptului că supratensiunile ce depăşesc factorul 1,3 U_n au o probabilitate de apariţie redusă, s-a propus o încercare cu o undă 100/1300 μs, cu o amplitudine de 1,3 U_n. Metoda de încercare şi generatorul de undă se află încă în studiu.

2.7.1.2. Fenomene tranzitorii cu durata medie (1..100 μs)

În reţelele de joasă tensiune subterane, aceste fenomene tranzitorii sînt cauzate de anclanşarea/declanşarea aparatului de comutaţie. Ele au în general forma unor oscilaţii amortizate cu frecvenţa cuprinsă între 30 şi 500 kHz. Studiile statistice efectuate în Europa au arătat că există o mică probabilitate ca ele să depăşească valoarea de 3 kV.

În reţelele aeriene de joasă tensiune, în afara fenomenelor de anclanşare/declanşare mai apar şi cele datorate supratensiunilor atmosferice, manifestate sub forma oscilaţiilor amortizate sau ca unde unidirecţionale. Tensiunile maxime ating valori mai ridicate decît în cazul reţelelor de cabluri şi s-a admis că din punctul de vedere al perturbaţiilor electromagnetice nivelul de compatibilitate poate fi fixat la 4 kV.

Aceste constatări au condus la definirea următoarelor tipuri de încercări:

— o încercare la impuls de tensiune sau de curent;

— o încercare la oscilaţii de înaltă frecvenţă amortizate.

Pentru încercarea la impuls, grupul de lucru 65/4 al C.E.I. a elaborat o propunere de normă de încercare ce prevede utilizarea unui generator hibrid ce furnizează în gol o undă de tensiune (1,2/50 μs), iar în scurtcircuit o undă de curent (8/20 μs). Tensiunea de încercare se alege în gama 0,5 ... 4 kV, iar curenţii de încercare sînt funcţie de impedanţa generatorului.

În cazul încercărilor la oscilaţii de înaltă frecvenţă (introduse deja în cadrul Comunităţii Europene), se consideră reprezentativă pentru fenomenele ce au loc în reţelele electrice, oscilaţia cu frecvenţa de 100 kHz, amortizată după 3—4 oscilaţii, cu amplitudinea maximă cuprinsă în plaja 0,5 ... 4 kV şi cu un front de 0,5 μs.

2.7.1.3 Fenomene tranzitorii rapide (< 100 ns)

Un fenomen puternic perturbator pentru echipamentele electronice este cel generat de întreruperea micilor sarcini inductive, în aceste cazuri luînd naştere rafale de impulsuri de scurtă durată (< 100 ns), cu front foarte abrupt (5 . . .20 ns) şi amplitudini de pînă la 2 kV.

Publicaţia C.E.I. 65 (BC) 39 prevede următoarea modalitate de încercare:

— impulsuri 5/50 ns;

— repetate în salve de 15 ms la frecvenţa de 5 sau 2,5 kHz;

— salvele se repetă la fiecare 300 ms;

— încercarea se aplică timp de 1 minut;

— tensiunea maximă este cuprinsă între 0,5 şi 4 kV funcţie de clasa aparatului, dispozitivului, echipamentului.

2.7.2. Circuite secundare

Fenomenele ce apar în circuitele de comandă-control sînt cauzate de operaţiile de conectare/deconectare, de inducţiile electromagnetice datorate apropierii faţă de circuitele de m.t. sau de j.t., de fenomenele atmosferice etc.

2.7.2.1. Fenomene tranzitorii cu durată medie (1 . . .100 μs)

Măsurătorile efectuate pînă în prezent au demonstrat faptul că trebuie luate în considerare oscilaţiile amortizate în gama de frecvenţe 50 kHz . . . 5 MHz, a căror amplitudine maximă nu depăşeşte valoarea de 1 kV în cazul conectărilor/deconectărilor, respectiv 2,5 kV în cazul supratensiunilor atmosferice.

Publicaţia C.E.I. 255 prescrie în prezent:

— o încercare la impuls 1,2/50 μs, cu tensiunea maximă cuprinsă între 0,25 şi 2 kV;

— o încercare cu unda oscilatorie amortizată cu frecvenţa de 1 MHz, timp de creştere front 75 μs, tensiune de încercare 0,5 . . . 2,5 kV.

Grupul de lucru 77B/3 are în vedere şi o altă încercare cu unda oscilatorie amortizată la frecvenţa de 100 kHz, front 75 μs şi tensiunea de încercare 0,2 . . . 1 kV.

2.7.2.2. Fenomene tranzitorii rapide (< 100 ns)

Originea fenomenelor tranzitorii rapide din circuitele secundare, precum şi metodele de încercare sînt aceleaşi ca şi în cazul reţelelor de distribuţie de j.t. Nivelul perturbaţiilor este totuşi ceva mai scăzut şi din acest motiv, tensiunile de încercare pot fi reduse pînă la 0,25 . . . . . 2 kV.

2.9. Descărcări electrostatice

O situație des întîlnită este cea a unui operator care se deplasează pe o podea acoperită cu o mochetă, el putînd acumula în corpul său o sarcină electrică de ordinul kilovolților. În cazul în care operatorul atinge un echipament sau un aparat, se produce o descărcare electrostatică caracterizată în cazurile cele mai defavorabile de o undă de curent cu un front foarte abrupt și avînd durata scurtă, de ordinul 5/30 *ns*. Descărcarea electrostatică are o influență perturbatoare asupra componentelor electronice.

Publicația C.E.I. 801—2 descrie modalitatea de încercare și recomandă următoarele valori funcție de tipul mochetei și de umiditatea aerului: 2, 4, 8 și 15 kV.

2.10. Cîmpuri magnetice

În practică se disting următoarele situații:

— cîmpuri magnetice permanente la frecvența industrială;

— cîmpuri magnetice de scurtă durată la frecvența industrială, datorate defectelor (scurtcircuite) ce apar în rețele electrice;

— cîmpuri magnetice oscilatorii amortizate datorate fenomenelor oscilatorii din rețelele electrice.

Grupul de lucru 77B/3 C.E.I. propune următoarele valori de încercare:

— cîmpuri magnetice permanente: 40, 100, 400 A/m;

— cîmpuri magnetice de scurtă durată la frecvența industrială: impulsuri cu durata de la 1 la 3 s, de 400, 1000, (X), A/m;

— cîmpuri magnetice cu caracter de impulsuri: cîmp produs de unda de curent clasică 8/20 μs: 100, 500, 1000, (X), A/m;

— cîmpuri magnetice oscilatorii amortizate produse de curenții corespunzători încercărilor la fenomene tranzitorii de 0,1 și 1,0 MHz: 10, 50, 100, (X), A/m.

3.11. Cîmpuri radioelectrice

Aparatele sau sistemele electronice pot fi influențate de cîmpurile radioelectrice produse:

— intenționat în cazul emițătoarelor radio, TV etc.;

— neintenționat de echipamentele electronice industriale, de iluminatul fluorescent etc.

Pentru gama de frecvențe cuprinsă între 27 și 500 (1000) MHz, publicația C.E.I. 801—3 descrie metodele de încercare și recomandă următoarele valori: 1, 3, 10, (X), V/m.

Pentru frecvențele cuprinse între 10 kHz și 27 MHz, problema este încă în studiu.

3. Recomandări C.E.I.

O vedere de ansamblu asupra tipurilor de încercări rezultă din tabelul sintetic întocmit de grupul de lucru 77B/3 al C.E.I.

Tipul încercării	Rețele forță	Circuite secundare
Perturbații joasă-frecvență legate de alimentare		
1.1 Armonici	* * *	
1.2 Interamonici	*	
1.3 Semnale sinusoidale	* *	
1.4 Fluctuații de tensiunne	* * *	
1.5 Goluri de tensiune	* * *	
1.6 Nesimetria tensiunilor	*	
1.7 Variații de frecvență	*	
Fenomene tranzitorii		
2.1 Impuls 100/1300 μs	* *	
2.2 Impuls 1,2/50—8/20 μs	* * *	* * (1)
2.3 Rafale impulsuri rapide	* * *	* * *
2.4 Undă oscilatorie amortizată 100 kHz	în studiu	
2.5 Undă oscilatorie amortizată 0,1 ... 2 MHz	* * *	* * * (2)
2.6 Tren JF de rafale IF		*
2.7 Injecție de curent în armătura cablului		în studiu
3.1 Descărcări electrostatice	* * *	* * *
Influențe magnetice		
4.1 Inducție magnetică 50 Hz	* *	* *
4.2 Impulsuri magnetice	* *	* *
4.3 Undă oscilatorie amortizată	* *	* *
Radio		
5.1 Cîmp IF (10 kHz ... 20 MHz)	* * *	* * *
5.2 Cîmp FIF (20...500MHz)	* * *	* * *
Diverse		
6.1 C.c în circuite de c.a.		*
6.2.50 Hz în circuite de c.c.		* * *

LEGENDA:

* * *: recomandare
* *: posibilitate
*: caz special
(1): echipament expus la supratensiuni atmosferice
(2): echipament neexpus la supratensiuni atmosferice

4. Încercări efectuate de către fabricanți

S-au consultat cîteva prospecte referitoare la releele de protecție numerice produse de unii fabricanți cu tradiție din Europa, S.U.A. și Canada.

Dintre acestea, se prezintă cu caracter exemplificativ, tipurile de încercări la care sînt supuse unele relee numerice destinate protecției liniilor electrice, și anume: releele 7SJ550 Siemens, releele SPAA 322 S Asea Brown Boveri și releele Tropic Alsthom.

Tipul încercării	7SJ550	SPAA	Tropic
Rigiditate dielectrică 2 kV, 50 Hz, 1 minut	*	*	* CEI 255—5
Încercarea la impuls 1,2/50 μs, 0,5 J/5 kV			
R_i = 500 ohmi	*	*	* CEI 255—5
Rezistența de izolație 500 Vc.c. > 100 Mohm	*	—	— CEI 255—5
Oscilații amortizate IF 1 MHz, R_i = 200 ohmi,			

400 raf/s cu t = 15 μs, durata 2 s, mod comun 2,5 kV, mod dif. 1 kV	*	*	*	CEI 255—22—1 CEI 255—6
Descărcări electrostatice 4 kV	*	*	—	CEI 801—2
Cîmp electromagnetic 0,15 — 500 MHz, 10 V/m	*	—	—	CEI 801—3 clasa 3
Rafale de impulsuri rapide 5/50 ns, R_i = = 50 ohmi, durata rafalei 15 ms, frecvența de repetiție 5 kHz, periodicitatea 300 ms, durata încercării 10 s, mod comun 2 kV, mod dif. 1. V	*	—	—	CEI 801—4 clasa 3
Interferențe radio 0,15 — 30 MHz	*	—	—	CISPR 22/85
Întreruperea alimentării c.c. sau scurt circuit 10 m	*	—	—	CEI 255—11/4
Întreruperea alimentării c.a. sau scurtcircuit 10 ms	*	—	—	Directiva CEI NO C 42/9

5. Clasificarea mediului

Investigațiile efectuate în cursul anilor '80 de către grupul de lucru 36.04 al CIGRE au condus la clarificări privind clasificarea mediilor electrice în care sînt plasate sistemele numerice. S-au propus 6 clase de mediu:

— **Clasa I.** Este cazul unei zone bine protejate împotriva perturbațiilor, ca, de exemplu, o sală de calculatoare sau o cameră de comandă. În interiorul sălii, condițiile de legare la pămînt sînt relativ bune și se utilizează o alimentare electrică separată pentru echipamentele numerice aflate în camera de comandă sau în sala de calculatoare. Circuitele de semnal pot fi deparazitate cu diode sau filtre RC.

Nivelul perturbațiilor în zona protejată este scăzut, apărînd interferențe în joasă și medie frecvență pînă la 100 kHz, inferioare valorii de 1 kV. În cazuri izolate, pot pătrunde pînă la echipamentele numerice, tensiuni de înaltă frecvență (> 10 MHz), cu amplitudini de 300 pînă la 500 V, prin conductoarele cablurilor, prin ecranul acestora și prin instalația de legare la pămînt.

— **Clasa II.** Această clasă se referă la echipamentele instalate în centralele electrice (exceptînd stațiile de transformare aferente acestora), în locurile în care este realizată o bună separație între sursele de perturbații și echipamentele numerice, cablurile de legătură la echipament fiind separate de cablurile de forță și fiind prevăzute cu ecrane. În majoritatea cazurilor, o distanță de separare de cîțiva decimetri între echipament și cabluri, sau de 1 m față de alte surse de perturbații, este suficientă.

În această clasă de mediu, tensiunile de înaltă frecvență (cu frecvența de circa 10 MHz) ating valori de pînă la 1 kV și sînt datorate unor vicii de antiparazitare.

— **Clasa III.** Clasă asemănătoare clasei II, dar caracterizată prin faptul că separațiile nu sînt posibile. Interferențele la frecvența rețelei și cele ce provin de la echipamentele electronice de putere conectate la rețea sînt mult mai periculoase, semnalîndu-se și interferențe în înaltă frecvență cu amplitudini de pînă la 2 kV.

— **Clasa IV.** În acest tip de mediu, echipamentele numerice sînt expuse la perturbații avînd tensiuni și energii de valori ridicate, care se pot produce datorită unui cuplaj net cu surse de interferență (de exemplu scîntei provenite de la contactoare sau de la aparatajul de joasă tensiune). În aceste condiții se regăsesc și cablurile multifilare care sînt utilizate în comun atît pentru conectarea echipamentului numeric la proces, cît și pentru conectarea releelor electromagnetice/contactoarelor din circuitele de protecție și comandă-control.

Dacă echipamentul numeric este situat în vecinătatea aparatajului de înaltă tensiune el poate fi supus la cîmpuri magnetice avînd intensități de cîteva mii de A/m în cazul unor defecte în acestea. Pot apărea, de asemenea, interferențele de înaltă frecvență (> 10 MHz) cu tensiuni cuprinse între 5 și 10 kV.

— **Clasa V.** Mediul din stațiile de transformare de tip deschis poate fi încadrat într-una din clasele I pînă la IV. În prezent, echipamentele numerice nu sînt încă utilizate într-o măsură foarte mare în stații și ele sînt amplasate de obicei în spații închise (camere de comandă sau cabine de relee), unde pot fi bine protejate împotriva influenței cîmpului electromagnetic. Majoritatea sistemelor numerice utilizate în stații folosesc semnale cu nivel relativ ridicat și cablurile de inteconexiune pot fi realizate cu o armătură de oțel folosită ca ecran. Aceste soluții sînt satisfăcătoare, dar pot deveni insuficiente în cazul unor sisteme electronice sensibile. Instalațiile de legare la pămînt bine integrate din stațiile de transformare, constituie un mijloc important pentru reducerea interferențelor.

Mediul clasa V este cel situat în zona barelor colectoare de înaltă tensiune, unde cîmpul electric atinge valori de cîțiva kV/m, iar cîmpul magnetic poate atinge valori de circa 500 A/m. Tensiunea de interferență la frecvența rețelei nu depășește în mod normal valoarea de 1 V/m, dar poate atinge valori de pînă la 500 V

pentru cablurile fără ecran, în cazul unui cuplaj în apropierea unei bare de înaltă tensiune cu defect la pămînt. Supratensiunile atmosferice și conturnarea izolatoarelor pot genera tensiuni de pînă la 20 kV pentru frecvențe cuprinse între 50 kHz și 5 MHz, tensiuni la care vor fi supuse și echipamentele aflate în zonă, în cazul în care conectarea la proces se face prin intermediul unor cabluri fără ecran. Cablurile avînd ecranul legat la pămînt la ambele extremități, pot însă reduce în mod eficace aceste tensiuni la valori ce nu depășesc în mod normal 1 kV.

— **Clasa VI.** Echipamentele numerice din stațiile de transformare care au legături cu alte echipamente aflate la distanță și care sînt amplasate în exteriorul conturului prizei de pămînt a stației, pot fi supuse la supratensiuni periculoase datorate descărcărilor atmosferice. Pentru protecție se utilizează tuburi cu descărcare în gaz, acestea dînd bune rezultate în cazul centralelor telefonice. Nu trebuie neglijat însă faptul că amorsarea tubului cu gaz în cazul descărcărilor atmosferice generează tensiuni remanente a căror amplitudine poate atinge valoarea de 5 kV.

6. Condiții de instalare

Principalele recomandări privind instalarea echipamentelor numerice în stațiile de transformare pot fi rezumate la următoarele:

— pentru alimentarea echipamentelor numerice se vor utiliza surse separate, izolate galvanic de sistemul general de alimentare (transformatoare, invertoare, baterii de acumulatoare);

— toate cablurile și legăturile la pămînt vor constitui o rețea, iar conexiunile vor fi cît se poate de scurte;

— nu sînt permise bucle de legare la pămînt în circuitele de semnal (cu excepția cablurilor coaxiale pentru monitoarele amplasate în zone bine protejate la perturbații);

— în stațiile de transformare se vor utiliza numai cabluri ecranate pentru realizarea legăturilor între echipamentele numerice și proces;

— se vor utiliza cabluri ecranate și în cazul magistralelor de date sau a altor semnale sensibile;

— cablurile ecranate se vor lega la pămînt la ambele extremități (ca regulă generală). Excepții: cabluri coaxiale pentru monitoare și unele cabluri destinate semnalelor analogice, de exemplu cele provenind de la termocuple;

— nu sînt permise combinații de semnale comune în cablurile multifilare;

— dacă echipamentul nu prezintă imunitate la perturbații, se vor utiliza soluții de izolare galvanică între proces și intrările/ieșirile echipamentelor numerice, și anume: optocuploare, relee de separație, cabluri cu fibre optice etc.

Concluzii

În prezent, pe lîngă subiectele amintite, organismele de standardizare internațională sînt preocupate și de alte probleme legate de compatibilitatea electromagnetică, cum ar fi probleme legate de perturbațiile din stațiile de transformare blindate avînd izolație SF6, probleme legate de utilizarea rețelelor de zone locale (LAN — Local Area Network).

Pe de altă parte, comitetele de produse din cadrul C.E.I., sînt desemnate să se ocupe de problemele de compatibilitate electromagnetică referitoare la aparatele sau echipamentele specifice fiecărui comitet, au ca sarcină analiza influențelor la care sînt supuse produsele respective, definirea claselor de mediu și a încercărilor de imunitate corespunzătoare, în cadrul general pregătit de către Comitetul de Studiu 77 al C.E.I.

Bibliografie

[1] Anders, R. *Problèmes de perturbations dans les systèmes électroniques de commande de processus.* CIRED 1987, ref. c. 02a.

[2] Goldberg, G. *Compatibilité électromagnetiques dans les réseaux électriques, phenomènes et essais d'imunite.* CIRED 1987 ref. c. 02b.

[3] Wogerbauer, P. *Reliability of electronic systems in power distribution substations.* CIRED 1989.

[4] *Essais d'imunité relatifs a la compatibilité électromagnetiques.* CEIdoc. 77B (Secr.) 22 (1986)

[5] *Compatibilité électromagnetiques pour les matériels de mesure et de commande dans les processus industriels.* 2e partie: *Prescriptions relatives aux descharges électrostatiques.* Publicația CEI 801—2 (1984).

[6] Idem. 3e partie: *Prescriptions relatives aux champs de rayonnements électromagnetiques.* Publicația CEI 801—3 (1984).

[7] Idem. 4e partie: *Exigences en matière de transitoires électriques rapides.* CEI Doc. 65 (BC) 39 (1985).

[8] Idem. 5e partie: *Exigences en matière de transitoires electriqués lents.* CEI Doc. 65 (Secr.) 109 (1986).

[9] *Environnement et niveaux de compatibilité électromagnetiques pour les perturbations conduites basses-frequences dans le réseaux BT de puissance.* CEI Doc. 77 (Secr.) 64 și 65 (1985).

[10] *Environnement électromagnetique créé par les perturbations hautes-frequences.* CEI Doc. 77 (Secr) 63 (1985)

(Primit la 3 septembrie 1990, acceptat la 20 septembrie 1990)

Metodologia de determinare a debitului de abur intrat în turbinele de condensație, în regimuri nenominale. Mărimi ce caracterizează destinderea în turbină

Dr. ing. JEANA MONICA SAVA*

Descriptori: turbină de condensație

Lucrarea indică metodologia de determinare a debitului de abur admis în turbină, punctul de funcționare fiind dat de intersecția caracteristicii treptei de reglaj cu caracteristicile treptelor de presiune, funcție de starea ventilelor de reglaj și parametrii aburului viu.

În acest sens se introduce noțiunea de secțiune echivalentă de curgere a ajutajelor pentru trasarea caracteristicii treptei de reglaj. Făcînd analogia cu legarea în paralel a pompelor sau ventilatoarelor, se trasează caracteristica treptei de reglaj funcție de starea ventilelor.

Se introduce, de asemenea, o mărime Z (făcînd analogie hidraulică), care, pentru o configurație dată a traseului aburului, caracterizează gradul de destindere pe diverse zone ale turbinei. Rezultă că debitul intrat în turbină depinde în primul rînd de starea ventilelor de reglaj. Închiderea prizelor spre PIP-uri influențează puțin debitul de abur intrat, dar modifică distribuția acestuia la condensator și celelalte prize.

The paper indicates the method used to determine the turbine steam input, the working point being esteblished by intersecting the regulation stage characteristic with the pressure stages characteristics, function of the regulating valves condition and of the control pressure as well as of the live steam pressure.

The author introduces the notion of equivalent section of nozzle flow which helps to trace the regulation stage characteristic. By analogy with the pump of fun parallel connection, the regulation stage characteristic may be plotted, function of the valves condition. The variable Z is introduced (by hydraulic analogy) which, for a given shape of the steam, characterizes the expansion degree within certain sections. Hence it follows that the turbine steam input depends first of all on the regulating valve condition. Closing the inlets towards the high pressure pre-heaters influence a bit the steam input, but modifies its distribution at the condenser and at the other inlets as well.

Prezentarea generală a problemei

Debitul de abur admis în turbină poate fi determinat atunci cînd se cunoaște caracteristica treptei de reglaj, precum și cea a treptelor de presiune.

Caracteristica treptei de reglaj exprimă variația debitului admis în turbină pentru diferite valori ale presiunii după treapta de reglaj, pentru o anumită valoare a presiunii și temperaturii aburului viu. Această caracteristică este determinată de tipul ajutajelor treptei de reglaj.

Caracteristica treptelor de presiune reprezintă variația debitului ce intră în treptele de presiune la diverse valori ale presiunii de după treapta de reglaj.

Punctul de funcționare va fi dat de intersecția celor două caracteristici.

1. Determinarea caracteristicii treptei de reglaj

Atunci cînd nu dispunem de date referitoare la geometria ajutajelor, pe baza datelor oferite de constructor se cunoaște însă presiunea de după treapta de reglare în regim de debit maxim admis în turbină, cînd toate ventilele treptei de reglaj sînt complet deschise.

Se calculează în acest caz funcția Φ a ajutajului

$$\Phi = \sqrt{\frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{2/k} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}, \qquad (1)$$

unde:

p_1 reprezintă presiunea din amonte de ajutaj, în bar;

p_2 — presiunea din avalul ajutajului (de după treapta de reglaj), în bar;

p_1 și p_2 — valori care se găsesc în datele furnizorului pentru debitul maxim al turbinei, în bar;

k — coeficientul adiabatic pentru abur ($k = c_p/c_v$);

$c_p(c_v)$ — căldura specifică a aburului la presiune constantă (volum constant), în kJ/kg °C.

* Dr. ing. Jeana Monica Sava — Facultatea de Energetică, Institutul Politehnic, București.

Cunoscînd din datele constructorului debitul maxim de abur admis în turbină, se poate afla secţiunea echivalentă de trecere a tuturor ajutajelor (A):

$$A = \frac{D_{max}}{\Phi}\sqrt{\frac{v_1}{2p_1}}, \quad \text{în m}^2 \qquad (2)$$

unde:

D_{max} reprezintă debitul maxim de abur, în kg/s;
v_1 — volumul specific al aburului la intrare în turbină, în m³/kg;
p_1 — presiunea aburului la intrare în turbină, în N/m².

Pentru diferite valori ale presiunii p_2 se pot calcula mai multe valori ale funcţiei Φ, pentru o presiune la intrare dată $p_1 = \text{ct}$.

Cunoscînd secţiunea echivalentă de trecere a ajutajelor A, determinată anterior, pentru fiecare valoare Φ (deci pentru diverse valori p_2) se poate calcula debitul de abur admis:

$$D = A\Phi\sqrt{\frac{2p_1}{v_1}}, \quad \text{în kg/s.} \qquad (3)$$

În acest mod se poate trasa caracteristica treptei de reglaj cînd toate ventilele sînt deschise la maximum.

Ştiind însă că ventilele treptei de reglaj sînt legate în paralel, debitul printr-un ventil complet deschis va fi:

$$D_i = \frac{D \cdot n_i}{n_t}, \qquad (4)$$

unde:

n_i reprezintă numărul ajutajelor la cutia de abur a ventilului de reglaj „i" al turbinei;
n_t — numărul total de ajutaje.

Se trasează astfel caracteristica treptei de reglaj pentru 1, 2, ... n ventile de reglaj complet deschise (fig. 1).

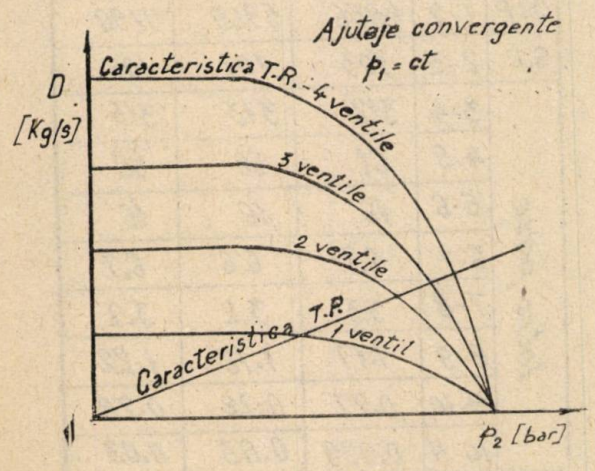


Fig. 1. Caracteristicile treptelor de reglaj şi presiune.

Cînd se funcţionează cu parametri alunecători, se poate trasa similar caracteristica treptei de reglaj pentru diferiţi parametri ai aburului viu intrat în turbină.

2. Determinarea caracteristicii treptelor de presiune

Pe baza datelor oferite de constructor pentru diverse regimuri se poate determina, prin relaţia lui Stodola, presiunea de după treapta de reglare pentru diverse debite de abur admise în treptele de joasă presiune:

$$p_1 = \sqrt{p_2^2 + \left(\frac{D}{D_n}\right)^2 (p_{1n}^2 - p_{2n}^2)}, \qquad (5)$$

unde:

$p_1\,(p_2)$ reprezintă presiunea la intrarea în treaptă (ieşirea din treaptă);
D — debitul masic de abur vehiculat.

Indicii „n" se referă la regimul nominal.

Punctele obţinute pentru o gamă de grupuri de valori (D, p_2) s-au situat pe o dreaptă, arătînd deci variaţia liniară a creşterii debitului masic admis în funcţie de creşterea presiunii de după treapta de reglaj (valabilitatea relaţiei lui Flügel pentru acest domeniu de presiune) (vezi fig. 1). Pentru grupurile de mare putere cu supraîncălzire intermediară, chiar în regimurile cu PIP ocolite, cînd configuraţia circulaţiei aburului se modifică şi ar fi fost de aşteptat ca în acest caz să se obţină o caracteristică a treptelor de presiune mult mai coborîtă, presiunile p_2, calculate pentru diverse debite, au dat valori pentru care dreapta de variaţie $D = f(p_2)$ a rezultat foarte apropiată de cea obţinută în cazul în care PIP-urile (preîncălzitoarele de înaltă presiune) nu erau ocolite.

Aceasta se datorează căderii mari de presiune care are loc în corpul de înaltă presiune, CIP, (similar unei rezistenţe mari înaintea consumatorilor, analogia putînd fi hidraulică sau electrică); ca urmare, închiderea sau deschiderea diverselor prize ale turbinei spre preîncălzitoare nu are influenţă asupra debitului admis, ci numai asupra modului în care el se distribuie la prize şi spre condensator.

3. Mărimi ce caracterizează destinderea în turbină (fig. 2)

În cazul laminării, procesul 1—2a este adiabat (schimbul de căldură fiind neglijabil), dar total ireversibil. Pentru învingerea rezistenţei la curgere se dezvoltă un lucru mecanic de frecare ce se transformă în căldură, aceasta rămînînd în sistem şi conducînd la majorarea entalpiei. Neglijînd variaţia energiei cinetice, rezultă că entalpia este practic constantă. Energia nu s-a pierdut, ci doar s-a degradat.

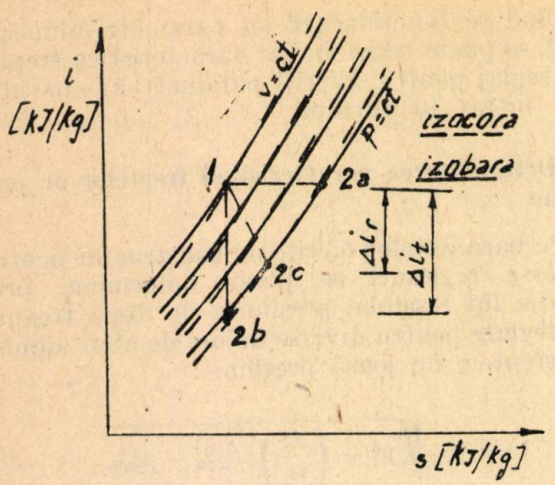


Fig. 2. Procesul de laminare și destindere izentropă a aburului: 1 — 2a — laminare; 1 — 2b — destindere izentropă; 1 — 2c — destindere reală.

În procesul 1—2a, care reprezintă situația destinderii adiabate și reversibile a aburului într-un ajutaj din care mai departe aburul este condus spre paletele turbinei, la ieșirea din ajutaj entalpia este scăzută, dar energia cinetică a aburului este ridicată, ea urmînd a se transforma în lucru mecanic util în paletele mobile.

La ieșirea aburului din palete energia lui va fi mai scăzută, ca urmare a producerii unui lucru mecanic care a ieșit în afara sistemului, și presiunea aburului va fi mai redusă.

Dacă în cazul procesului de laminare variația de presiune este cu atît mai mare cu cît lucrul mecanic de frecare este mai mare, în cazul destinderii adiabate, reversibile, variația de presiune este cu atît mai mare cu cît lucrul mecanic util este mai mare. Și într-un caz și în altul procesul este de curgere, deci se produce datorită unei diferențe de presiune.

Pentru procesul de laminare și în general al curgerilor cu frecare se poate folosi relația:

$$\Delta p = \xi \cdot \rho_m \frac{w^2}{2}, \qquad (6)$$

unde:

Δp reprezintă căderea de presiune, în N/m²;
ξ — coeficientul de rezistență locală;
m — densitatea medie a aburului, în kg/m;
w — viteza aburului, în m/s.

Deoarece în ambele procese 1—2a și 1—2b se produce lucru mecanic, în primul caz unul de frecare, în al doilea unul util, o formulă similară s-a utilizat și pentru destinderea adiabată și izentropă (reversibilă) a aburului în turbină:

$$\Delta p = \frac{Z \cdot D^2}{\rho_m}, \qquad (7)$$

unde:

Z este o mărime similară caracteristicii hidraulice (s) a unei rețele, fiind exprimată în m^{-4}.

Relația 7 poate fi aplicată atît pentru calculul variației de presiune în transformările ireversibile, cît și pentru destinderea reversibilă și cea reală.

În cazul transformării reale 1—2c, destinderea totală este cauzată atît de destinderea adiabatică și reversibilă în treptele turbinei ce produce lucru mecanic util, cît și de transformările ireversibile (frecările) ce conduc la creșterea entropiei.

Destinderea reală în treptele dintre două prize va fi caracterizată prin:

— mărimea Z (care caracterizează gradul total de destindere);

— randamentul intern al treptelor η_i (care caracterizează calitatea destinderii), unde $\eta_i = \Delta i_t / \Delta i_t$ (vezi fig. 2).

Un alt mod de a caracteriza destinderea poate fi exprimat prin:

— mărimea Z' (care caracterizează gradul de destindere reversibilă);

— mărimea Z'' (care caracterizează gradul de destindere ireversibilă).

Spre exemplificare, în tabelul 1 se dau valorile Z ce caracterizează gradul total de destindere pentru diverse zone ale turbinei (CIP, SI și între prize), în diverse regimuri, la grupul Skoda K 200.

Se remarcă faptul că mărimea Z variază de la un regim la altul numai la destinderea în CIP (datorită modificării gradului de închi-

Tabelul 1

Variația mărimii Z funcție de regim pe diverse zone ale turbinei la grupul Skoda K 200

Zona \ Regim		200 MW	180 MW	160 MW
C.I.P.	1-2	4856	5969	7190
S.I.	2-3	103	107	106
Între prize	3-4	312	313	315
	4-5	61	60	59
	5-6	16	16	16
	6-7	6,7	6.6	6,7
	7-8	3.3	3.2	3.2
	8-9	1.17	1.18	1.22
	9-10	0.27	0.28	0.28
	10-11	0.029	0.03	0.03

dere al ventilelor de reglaj care modifică destinderea). Pe toate celelalte zone Z este practic constant, deoarece geometria secţiunilor de curgere a aburului rămîne nemodificată.

În supraîncălzitorul intermediar (SI) destinderea are loc datorită pierderilor de presiune prin frecare, procesul fiind cu primire de căldură (neadiabatic).

3. Stabilirea debitului de abur admis în turbină

Debitul de abur viu ce intră în turbină în regimuri fără laminare în VR, poate fi determinat prin intersecţia caracteristicii treptei de reglaj (cu 1, 2, · . . n ventile deschise) cu caracteristica treptelor de presiune. Funcţie de debitul de abur ce trebuie admis în turbină, pentru anumiţi parametri ai aburului viu, se poate cunoaşte astfel situaţia în care vor trebui să se găsească ventilele de reglaj, putînd simula în acest mod procesele hidrodinamice din zona treptei de reglaj.

Din aplicaţiile numerice pentru turbine cu supraîncălzire intermediară s-a observat că debitul admis în turbină, la anumiţi parametri ai aburului la intrare, este dictat în primul rînd de starea de închidere a ventilelor treptei de reglaj şi prea puţin de faptul că PIP-urile sînt sau nu ocolite. Evident că la scăderea presiunii aburului viu se vor obţine alte caracteristici ale treptei de reglaj, ce vor fi mai coborîte, rezultînd că debitele de abur ce pot fi admise în turbină se vor diminua.

Recalcularea presiunilor pentru alte regimuri, aplicînd fie formula lui Stodola, fie relaţia 7, a condus la rezultate foarte apropiate. Pentru oricare regim al turbinei, valoarea Z găsită pentru destinderea în CIP a turbinelor cu supraîncălzire intermediară a fost mult mai mare decît pentru oricare altă zonă a turbinei. Aceasta este similar unor rezistenţe înseriate, cînd cea mai mare dintre ele este plasată înaintea oricărei ramificaţii, situaţie în care debitul este dictat de rezistenţa de la intrare (analogie hidraulică). Acest fapt determină o modificare redusă a caracteristicii treptelor de presiune în regim de ocolire a PIP-urilor faţă de funcţionarea normală, modificările esenţiale fiind cele legate de redistribuirea debitelor la prize.

Referitor la destinderea în turbină, randamentul η_i reflectă gradul de ireversibilitate al procesului.

Prin introducerea coeficientului Z apare posibilitatea de a aprecia gradul total de destindere între diverse zone ale turbinei.

(Primit la 5 mai 1990, acceptat la 25 iulie 1990)

Ventil de închidere rapidă pentru o turbină cu abur de medie putere

Ing. ION NICOLAU*

Descriptori: turbine cu abur, ventile de închidere rapidă

La ventilul de închidere rapidă al unei turbine cu abur de putere mijlocie sînt examinate, pe de o parte, principalele cerinţe funcţionale, iar pe de altă parte, modul în care construcţia ventilului analizat răspunde acestor cerinţe.

At a medium steam turbine fast stop valve level there are studied the main operation requirements and the manner in which the tested valve conforms to them.

Introducere

Exploatarea normală, de lungă durată, a turbinelor cu abur, necesită o supraveghere permanentă a stării tehnice. Cînd mărimile caracteristice de funcţionare depăşesc domeniul admis şi rezultă o funcţionare anormală, periculoasă pentru turbină, ventilul de închidere rapidă, care constituie elementul final (de execuţie) al sistemului de protecţie, se închide, opreşte accesul aburului şi preîntîmpină apariţia sau dezvoltarea unei avarii grave.

La un ventil de închidere rapidă deosebim trei aspecte mai importante: în primul rînd interesează ca la poziţia închis supapa să etanşeze pe scaunul ei şi la această poziţie să nu intre abur în turbină, în al doilea rînd interesează ca la poziţia deschis pierderea de presiune la trecerea aburului să fie minimă şi să nu diminueze randamentul turbinei, iar în al treilea rînd interesează ca la situaţia de avarie, închiderea să fie rapidă şi sigură, fără a necesita un aport de energie exterioară.

* Ing. Nicolau Ion — Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Energetice, Bucureşti

Vom ilustra cele de mai sus prezentînd în cele ce urmează ventilul de închidere rapidă proiectat de ICSITEE București și executat de IMGB București pentru o turbină cu abur de putere mijlocie.

1. Construcția ventilului de închidere rapidă

Ventilul de închidere rapidă se compune dintr-un robinet de abur și un servomotor de acționare (fig. 1) și cuprinde ca piese mai importante: corpul 1, scaunul 2, supapa 3, sita 4, supapa pilot 5, capacul 6, cutia contactoarelor 7, cilindrul 8, pistonul cu segmenți de etanșare 9, arcurile 10, sertarul distribuitor 11 și corpul distribuitor 12. Legătura dintre partea de abur și partea hidraulică se realizează prin cuplajul 13. La apariția presiunii uleiului de protecție ventilul se deschide, iar la scăderea presiunii uleiului sub o anumită valoare ventilul se închide.

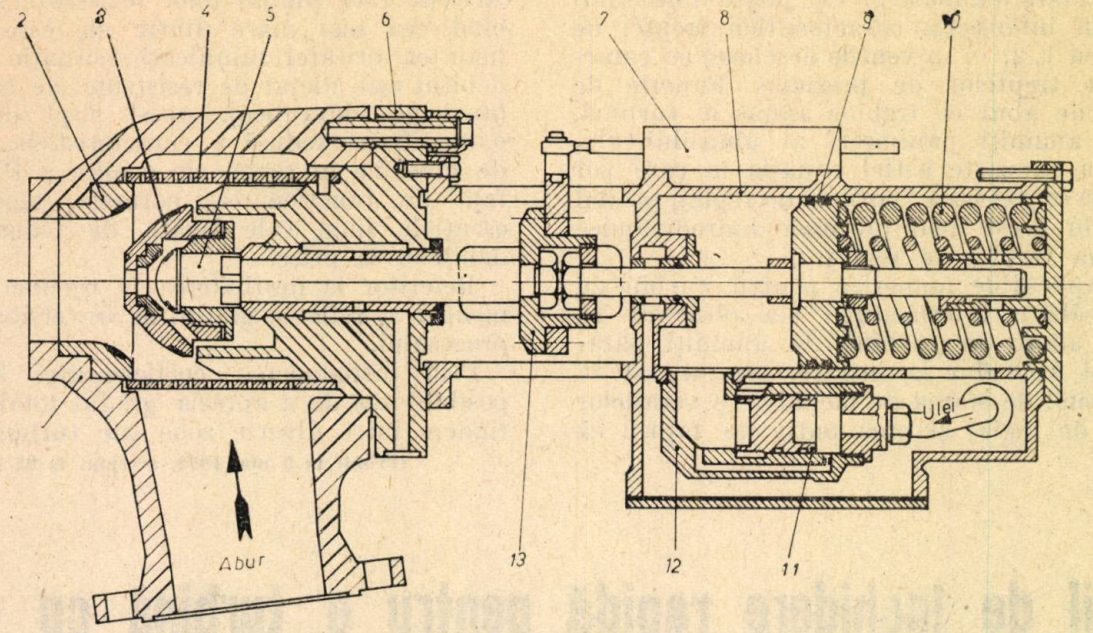


Fig. 1 Ventil de închidere rapidă.

Funcționarea la deschidere are loc în felul următor: uleiul împinge sertarul distribuitor spre stînga și descoperă un orificiu mic din corp, care permite accesul uleiului în cilindru, unde creează forța hidraulică activă. Această forță învinge forța arcurilor și forța aburului pe supapa pilot, care se deschide și lasă să treacă aburul de pe o parte pe alta a supapei principale.

Forța aburului pe supapa principală scade, deoarece ventilele de reglaj sînt închise și, după ce supapa pilot își face întreaga cursă, antrenează în mișcare și supapa principală care se deschide complet. La scăderea presiunii uleiului, ca urmare a unei situații de avarie, forța arcurilor învinge, pe de o parte, forța aburului pe tija pilot, iar pe de alta creează o presiune suficientă în cilindrul hidraulic care împinge sertarul distribuitor spre dreapta și deschide o secțiune mare de scurgere a uleiului care se evacuează rapid. Rezultă o deplasare rapidă a pistonului și a supapelor care se închid complet, fără aport de energie exterioară.

Poziția închis a supapei este semnalizată prin intermediul unui contactor electric montat în cutia contactorilor.

2. Etanșarea supapelor pe scaun

Etanșarea supapei ventilului de oprire pe scaunul din corp la poziția închis trebuie apreciată din punctul de vedere al realizării unei presiuni σ pe suprafața de contact, de cel puțin trei ori mai mare decît presiunea aburului p_{20}, adică:

$$K = \frac{\sigma}{p_{20}} > 3. \qquad (1)$$

De la început putem aprecia că contactul supapei pe scaun poate fi echivalat cu cazul a doi cilindri cu axe paralele în contact pe o suprafață dreptunghiulară. În acest caz din literatura de specialitate [2] se poate calcula lățimea suprafeței de contact, c, ca fiind o dependentă de sarcină pe unitatea de lungime a unui cilindru p, de diametrele celor doi cilindri D_{11}, D_{12} și de modulul de elasticitate al materialului E, adică:

$$c = 2{,}16 \sqrt{\frac{p}{E} \cdot \frac{D_{11} \cdot D_{12}}{D_{11} + D_{12}}}, \qquad (2)$$

unde sarcina pe unitatea de lungime p depinde de forța de contact F și de diametrul de contact D_1, adică :

$$p = \frac{F}{\pi \cdot D_1}. \tag{3}$$

Forța de contact F este suma dintre forța aburului pe supapă F_1 și forța minimă a arcurilor F_2, raportate pe direcția suprafeței de contact, iar forța aburului depinde de presiunea aburului p_{20} și de suprafața pe care acționează :

$$F = (F_1 + F_2) \cdot \cos \varphi \tag{4}$$

$$F_1 = p_{20} \cdot \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \tag{5}$$

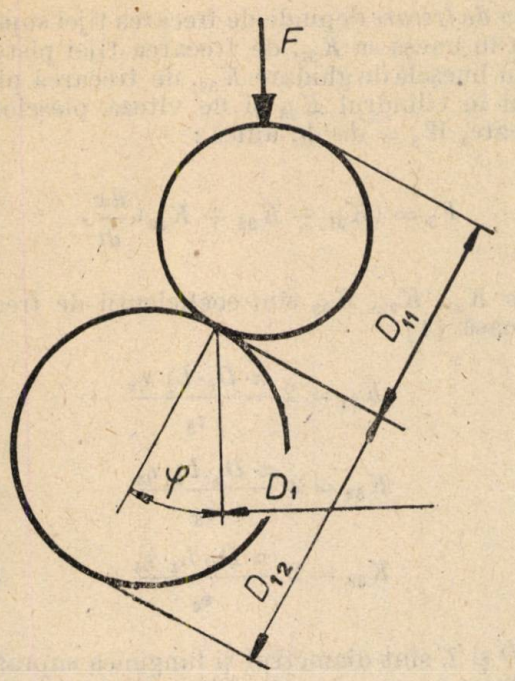


Fig. 2. Contactul supapei pe scaun.

Presiunea medie pe suprafața de contact depinde de forța de contact F și de mărimea suprafeței de contact, adică :

$$\sigma_1 = \frac{F}{\pi \cdot D_1 \cdot C} = 1910 \text{ daN/cm}^2. \tag{6}$$

La această valoare a presiunii de contact a fost luată măsura de durificare a suprafețelor prin stelitâre, iar raportul K are valoarea :

$$K_1 = \frac{\sigma_1}{p_{20}} = 16, \tag{7}$$

ceea ce conduce clar la concluzia că etanșarea supapei pe scaun este bună.

În mod similar este calculată etanșarea supapei pilot pe scaunul ei, unde rezultă :

$$K_2 = \frac{\sigma_2}{p_{20}} = 12. \tag{8}$$

3. Pierderea de presiune

Pierderea de presiune Δp prin ventilul de oprire cu supapa complet deschisă, se calculează cu relația generală :

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{W^2}{2g} \cdot \gamma \cdot 10^{-4}, \tag{9}$$

unde W este viteza aburului în diametrul minim al scaunului, g este accelerația gravitațională, γ este greutatea specifică a aburului, iar ξ este un coeficient care depinde, în cazul modelului experimental realizat la ICSITEE [3], de numărul Reynolds, după cum arată diagrama din figura 3.

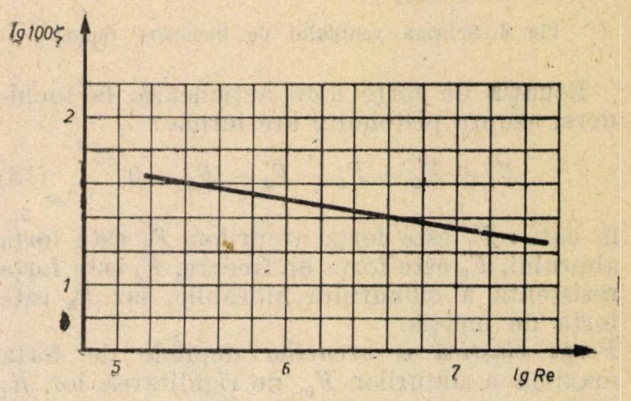


Fig. 3 Coeficientul experimental $\xi = f(\text{Re})$.

Numărul Reynolds se calculează cu relația :

$$\text{Re} = \frac{W \cdot D}{\nu}, \tag{10}$$

unde D este diametrul minim al scaunului, iar ν este vîscozitatea cinematică a aburului la presiunea și temperatura de lucru.

Viteza aburului în diametrul minim al scaunului depinde de debitul aburului G, de volumul specific al aburului V la presiunea și temperatura de lucru și de diametrul minim D al scaunului :

$$W = \frac{4 \cdot G \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot D^2}. \tag{11}$$

Pentru cazul ventilului de oprire analizat, căderea de presiune raportată la presiunea aburului proaspăt p_{20} este :

$$\frac{\Delta p}{p_{20}} \cdot 100 = 0{,}5 \ \%. \tag{12}$$

3. Închiderea ventilului

Pentru a determina cît de repede se închide ventilul analizat este necesar să prezentăm mai întîi schematic elementele care concură la închidere şi apoi să scriem echilibrul forţelor.

Poziţia iniţială este „deschis", iar sensul pozitiv este cel spre „închidere". Se apreciază de la început că viteza de închidere este satisfăcătoare dacă timpul de parcurgere al cursei X este mai mic sau egal cu 0,15 s.

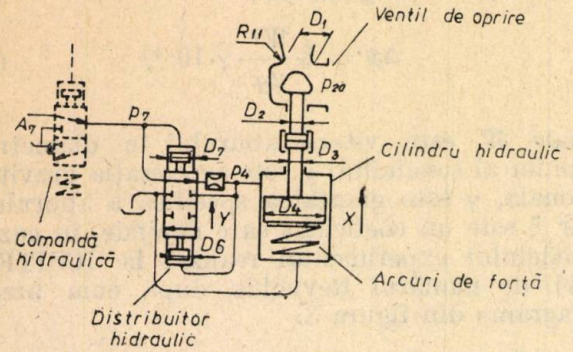


Fig. 4. Schema ventilului de închidere rapidă.

Ecuaţia de forţe care acţionează, la închidere, asupra pistonului are forma :

$$F_1 + F_2 - F_3 - F_4 - F_5 = 0, \qquad (13)$$

în care : F_1 este forţa arcurilor, F_2 este forţa aburului, F_3 este forţa de frecare, F_4 este forţa rezistentă a cilindrului hidraulic, iar F_5 este forţa de inerţie.

Forţa elastică a arcurilor depinde de forţa maximă a arcurilor F_0, de rigiditatea lor K_1 şi de cursa pistonului X, adică :

$$F_1 = F_0 - K_1 \cdot X. \qquad (14)$$

Forţa aburului care este la început negativă, dar apoi îşi schimbă sensul şi devine pozitivă, se determină ca o diferenţă dintre forţa aburului pe tija F_{22} şi forţa aburului pe supapa F_{21}, adică :

$$F_2 = F_{22} - F_{21}. \qquad (15)$$

Forţa aburului pe supapa ventilului depinde de suprafaţa supapei $S_{21} = \pi \cdot D_1^2/4$ şi de diferenţa dintre presiunea constantă a aburului proaspăt p_{20} şi de presiunea variabilă după supapă, adică :

$$F_{21} = S_{21}(p_{20} - p_{21}) = S_{21} \cdot \Delta p_1. \qquad (16)$$

Forţa aburului pe tija supapei depinde de secţiunea tijei $S_{22} = \pi \cdot D_2^2/4$ şi de presiunea aburului proaspăt p_{20}, adică :

$$F_{22} = S_{22} \cdot p_{20}, \qquad (17)$$

iar diferenţa de presiune Δp_1 depinde de debitul de abur G, de secţiunea de trecere a supapei A_{23} şi de volumul specific al aburului V_0 [1], adică :

$$G = \frac{A_{23}}{V_0} \cdot \sqrt{2 \cdot V_0 \cdot \Delta p_1}, \qquad (18)$$

de unde :

$$\Delta p = \frac{V_0}{2} \cdot \left(\frac{G}{A_{23}} \right)^2, \qquad (19)$$

secţiunea de trecere a supapei depinde de secţiunea maximă A_{20} şi de cursa X a supapei raportată la cursa sa maximă x_0, adică :

$$A_{23} = A_{20} \left(1 - \frac{x}{x_0} \right), \qquad (20)$$

Forţa de frecare depinde de frecarea tijei supapei pilot în bucşa sa K_{31}, de frecarea tijei pistonului în bucşele de ghidare K_{32}, de frecarea pistonului în cilindrul K_{33} şi de viteza pieselor în mişcare, $W_3 = dx/dt$, adică :

$$F_3 = (K_{31} + K_{32} + K_{33}) \cdot \frac{dx}{dt}, \qquad (21)$$

unde K_{31}, K_{32}, K_{33} sînt coeficienţii de frecare vîscoasă [4]

$$K_{31} = 2 \frac{\pi \cdot D_2 \cdot L_2 \cdot \eta_2}{\varepsilon_2} \qquad (22)$$

$$K_{32} = 2 \frac{\pi \cdot D_3 \cdot L_3 \cdot \eta_3}{\varepsilon_3} \qquad (23)$$

$$K_{33} = 2 \frac{\pi \cdot D_4 \cdot L_4 \cdot \eta_4}{\varepsilon_4} \qquad (24)$$

iar D şi L sînt diametrul şi lungimea suprafeţei de frecare, η este viscozitatea aburului sau a uleiului, iar ε este jocul radial dintre piesele în mişcare.

Forţa rezistentă a cilindrului hidraulic corespunde presiunii din cilindrul hidraulic p_4 şi suprafeţei pistonului $S_4 = \pi \cdot D_4^2/4$, adică :

$$F_4 = p_4 \cdot S_4, \qquad (25)$$

unde presiunea din cilindru hidraulic, p_4, depinde de debitul de ulei evacuat Q_4, de coeficientul de debit μ, de secţiunea de trecere prin distribuitorul hidraulic A_4 şi de greutatea specifică a uleiului γ, adică :

$$Q_4 = A_4 \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} \cdot p_4 \qquad (26)$$

$$p_4 = \frac{\gamma}{2g} \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4 \cdot \mu} \right)^2, \qquad (27)$$

debitul de ulei depinde de secţiunea pistonului S_4 şi de viteza sa $W_3 = dx/dt$, adică:

$$Q_4 = S_4 \cdot \frac{dx}{dt}, \tag{28}$$

iar secţiunea de trecere a uleiului A_4 prin distribuitorul hidraulic depinde de secţiunea sa maximă A_1 şi de cursa sa Y raportată la cursa sa maximă Y_0, adică:

$$A_4 = A_1 \cdot \frac{Y}{Y_0}. \tag{29}$$

Forţa de inerţie corespunde masei echipajului mobil m_5 şi acceleraţiei imprimată acestuia, $a_5 = d^2x/dt^2$, adică:

$$F_5 = m_5 \cdot \frac{d^2x}{dt^2}, \tag{30}$$

unde masa totală corespunde masei pieselor în mişcare m_1, masei uleiului m_2 şi a unei părţi din masa arcurilor m_3:

$$m_5 = m_1 + m_2 + 0{,}5 \cdot m_3, \tag{31}$$

iar masa depinde de greutatea componentelor în mişcare G şi de acceleraţia gravitaţională g:

$$m_1 = \frac{G_1}{g}; \quad m_2 = \frac{G_2}{g}; \quad m_3 = \frac{G_3}{g}. \tag{32}$$

Întrucît din cele de mai sus rezultă că forţa hidraulică rezistentă a cilindrului hidraulic depinde de cursa distribuitorului, pentru acesta din urmă ecuaţia de forţe care acţionează asupra sertarului are forma:

$$F_6 - F_7 - F_8 - F_9 = 0, \tag{33}$$

în care:

F_6 este forţa hidraulică activă;
F_7 — forţa hidraulică rezistentă;
F_8 — forţa de frecare;
F_9 — forţa de inerţie.

Poziţia iniţială este închis, iar sensul pozitiv este spre deschidere.

Forţa hidraulică activă spre deschiderea distribuitorului corespunde presiunii din cilindrul hidraulic p_4 şi suprafeţei corespunzătoare a sertarului distribuitor $S_6 = \pi \cdot D_6^2/4$, adică:

$$F_6 = p_4 \cdot S_6. \tag{34}$$

Forţa hidraulică rezistentă corespunde presiunii de la ieşirea distribuitorului p_7 şi secţiunii corespunzătoare acestuia $S_7 = \pi \cdot D_7^2/4$, adică:

$$F_7 = p_7 \cdot S_7, \tag{35}$$

unde presiunea p_7 depinde de debitul evacuat Q_7, de coeficientul de debit μ, de secţiunea de evacuare de la comanda hidraulică A_7, de greutatea specifică a uleiului γ şi de acceleraţia gravitaţională g (similar cu relaţia 27):

$$p_7 = \frac{\gamma}{2g} \cdot \left(\frac{Q_7}{\mu \cdot A_7} \right)^2, \tag{36}$$

iar debitul de ulei depinde de secţiunea corespunzătoare de la ieşirea distribuitorului $S_7 = \pi \cdot d_7^2/4$ şi de viteza sa $W_7 = dY/dt$, adică

$$Q_7 = S_7 \cdot \frac{dY}{dt}, \tag{37}$$

Forţa de frecare vîscoasă a distribuitorului depinde de frecarea f_8 dintre sertarul distribuitor şi corpul său, precum şi de viteza sertarului $W_8 = dy/dt$, adică

$$F_8 = f_8 \cdot \frac{dY}{dt}. \tag{37}$$

unde f_8 este coeficientul de frecare vîscoasă [4] care depinde de diametrul sertarului D_7 şi de lungimea umărului său L_7, de vîscozitatea dinamică a uleiului η_3 şi de jocul radial dintre sertar şi corpul său ε_7, adică:

$$f_8 = 2 \frac{\pi \cdot D_7 \cdot L_7 \cdot \eta_3}{\varepsilon_7}. \tag{39}$$

Forţa de inerţie corespunde masei sertarului m_9 şi acceleraţiei imprimate acestuia $a_9 = d^2y/dt^2$, adică:

$$F_9 = m_9 \cdot \frac{d^2y}{dt^2}, \tag{40}$$

unde masa pieselor în mişcare depinde de greutatea sertarului G_6, de greutatea uleiului G_7 şi de acceleraţia gravitaţională g, adică

$$m_9 = (G_6 + G_7)/g. \tag{41}$$

Cu aceste ecuaţii a fost întocmit programul de calcul SERVAN 1, care prelucrat pe calculatorul numeric CE 119 S a dat un timp de închidere $T = 0{,}12$ s. Din păcate, la producător nu sînt posibilităţi de verificare integrală pe standul de probă datorită diversităţilor mari ale parametrilor la partea de abur. Din această cauză pe standul de probă se încearcă numai servomotorul de acţionare cuprinzînd cilindrul şi distribuitorul hidraulic. Pentru acest caz a fost întocmit programul de calcul

SERVAN 2, în care au fost cuprinse ecuațiile de mai sus, mai puțin ecuația 15 care determină forța aburului și partea din ecuația 21 care determină frecarea tijei ventilului. Prelucrarea

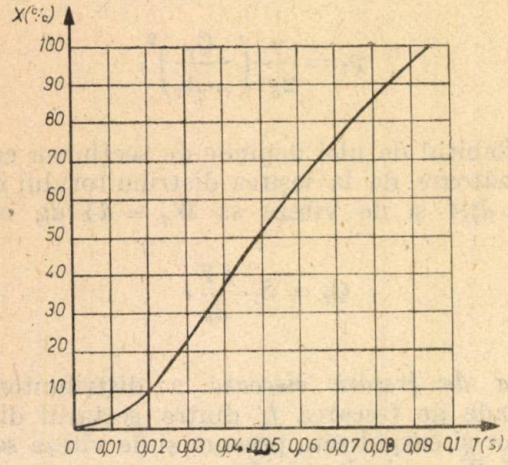


Fig. 5 Dinamica servomotorului hidraulic.

pe calculatorul numeric CE 119 S a programului SERVAN 2 a dat ca rezultat un timp de închidere $T = 0{,}1$ s, după cum rezultă din figura 5.

Valoarea timpului de închidere $T = 0{,}1$ s astfel determinată stă la baza recepției uzinale a servomotorului de acționare și este în concordanță cu rezultatele obținute pe standul de probă de la IMGB.

Concluzii

Din analiza făcută rezultă că toate cele trei criterii principale cerute unui ventil de închidere rapidă de la turbinele cu abur de putere mijlocie sînt îndeplinite și se poate trage concluzia generală că ventilul analizat satisface scopul propus.

Bibliografie

[1] Grecu, T., Cârdu, M., Nicolau, I. *Turbine cu abur.* Editura Tehnică, București, 1976.

[2] * * * *Manualul inginerului mecanic.* Editura Tehnică, București, 1959.

[3] * * * *Experimentări pentru determinarea pierderilor de presiune în ventilul de oprire.* ICSITEE. București, 1980.

[4] Vasiliu, N., Cătană, I. *Transmisii hidraulice și electrohidraulice.* Editura Tehnică, București, 1988.

[5] Pop, M. G. și colectiv *Îndrumar. Tabele, nomograme și formule termotehnice,* vol. 1. Editura Tehnică, București, 1987.

(Primit la 8 februarie 1990, acceptat la 24 iulie 1990)

Influența înrăutățirii randamentului intern asupra consumului specific de căldură la turbina de tip DSL (VPT)-50

Dr. ing. DAN GOLICIU, as. ing. GABRIEL NEGREANU*

Descriptori: turbine cu aburi, randamente

Se expune legătura analitică dintre variația randamentului intern și variația consumului specific de căldură pentru producerea energiei electrice, la turbine de condensație cu prize reglabile de termoficare.

Sînt redate rezultate de aplicare cu principale cauze generatoare de înrăutățiri la turbine de tip DSL (VPT)—50.

The paper deals with the analytical relation between the internal efficiency variation and the heat rate variation for the electric power generation at the condensing turbine with controllable bleedings cogeneration.

The paper also includes the field results with the main reasons responsable for the internal efficiency worsening at the DSL (VPT)—50 type turbine.

Introducere

Înrăutățirea randamentului intern reprezintă o cauză importantă de creștere a consumului specific de căldură al turbinei cu abur.

Principalele cauze care duc la înrăutățirea randamentului intern sînt următoarele: uzura paletajului, depuneri de săruri pe paletaj, deteriorarea etanșărilor cu labirinți, ocolirea turbinei prin drenaje anormale, funcționarea cu frecvență scăzută.

La turbinele cu abur funcționînd în ciclu de condensație, variația consumului specific de căldură este de același ordin de mărime cu variația randamentului intern. Astfel, la o anumită variație relativă a randamentului intern mediu pe întreaga turbină corespunde o variație aproape egală a consumului specific.

* Dr. ing. Dan Goliciu — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, as. ing. Gabriel Negreanu — I.P.B., București.

La turbine cu abur funcționînd în ciclu de condensație cu prize de abur reglabile pentru termoficare, efectul variației randamentului intern asupra consumului specific de căldură pentru producerea energiei electrice este amplificat de faptul că odată cu randamentul intern variază și producția specifică de energie electrică în regim de termoficare. În felul acesta, la aceeași producție de putere și căldură a turbinei scade puterea produsă în regim de termoficare și crește corespunzător cea produsă în regim de condensație, conducînd la creșterea consumului specific de căldură pentru producerea energiei electrice. Acest efect se adaugă la cel de înrăutățire a consumului specific de căldură pentru puterea produsă în regim de condensație.

În cele ce urmează se vor prezenta relațiile analitice dintre randamentul intern și consumul specific de căldură pentru producerea energiei electrice, precum și rezultatele calculelor de aplicare a acestora la turbine de tip DSL — 50 (VPT—50—3).

1. Relații analitice dintre consumul specific de căldură pentru producerea energiei electrice și randamentul intern

Pentru ciclul de condensație fără supraîncălzire intermediară, variația consumului specific de căldură q^*/q funcție de variația randamentului intern η_i^*/η_i poate fi estimată cu următoarea relație simplificată conform (1):

$$\frac{q_c^*}{q_c} = \frac{\eta_i \left(1 - \dfrac{i_{al} - i_{cd}}{i_0(2 - \eta_i) + i_{2t} \cdot \eta_i - 2i_{cd}}\right)}{\eta_i^* \left(1 - \dfrac{i_{al} - i_{cd}}{i_0(2 - \eta_i^*) + i_{2t} \cdot \eta_i^* - 2i_{cd}}\right)}, \qquad (1)$$

unde:

i_{al} este entalpia apei de alimentare;
i_{cd} — entalpia condensatului principal la ieșirea din condensator;
i_0 — entalpia aburului viu;
i_{2t} — entalpia aburului la sfîrșitul destinderii adiabatice (teoretice).

Pentru ciclul de termoficare al unei turbine de condensație cu două prize reglabile (priză de abur industrial I și priză de abur pentru termoficare urbană U), trebuie determinată mai întîi scăderea de putere produsă în regim de termoficare ca urmare a înrăutățirii randamentului intern.

Premisele calculului sînt următoarele:

a) P — puterea la bornele generatorului;
Q_I — căldura livrată pe priza de abur industrial;
Q_U — căldura livrată pe priza pentru termoficare urbană,
sînt constante;

b) randamentul intern mediu al destinderii aburului η_i se înrăutățește cu un factor de reducere mediu constant pe toată destinderea „R_η" < 1.

Pornind de la aceste premise se determină în continuare scăderea de putere produsă în regim de termoficare pentru fiecare priză în parte.

Priza de abur industrial. Datorită variației randamentului intern, „R_η", variază (se reduce) căderea utilă de entalpie a aburului de la admisie pînă la priză H_{UI}, astfel încît căderea redusă se poate scrie sub forma:

$$H_{UI}^* = H_{UI} \cdot R_\eta, \qquad (2)$$

iar noua valoare a entalpiei la priză i_{pI} va fi:

$$i_{pI}^* = i_0 - H_{UI}^*. \qquad (3)$$

Cu aceste elemente se poate determina variația producției specifice de energie electrică Y_I(kJ/kJ) conform [2] cu relația:

$$\varepsilon Y_I = \frac{H_{UI}^* - H_{UI}}{H_{UI}} + \frac{i_{pI}^* - i_{pI}}{i_{pI} - i_{cI}}, \qquad (4)$$

unde i_{cI} (kJ/kg) reprezintă entalpia condensatului returnat al debitului de priză D_I (kg/s).

Reducerea de putere produsă în regim de termoficare de către priza industrială devine:

$$\Delta P_I = \varepsilon Y_I \cdot Y_I Q_I \quad [\text{MW}], \qquad (5)$$

unde:

$$Q_I = D_I(i_{pI} - i_{cI}) \cdot 10^3 \quad [\text{MW}]. \qquad (6)$$

La *priza de abur pentru termoficare urbană* calculul este similar cu cel de la priza de abur industrial și se obține reducerea de putere ΔP_U.

Reducerea totală de putere în regim de termoficare va fi:

$$\Delta P_T = \Delta P_I + \Delta P_U. \qquad (7)$$

Această putere trebuie compensată cu puterea produsă în regim de condensație pentru a menține constantă puterea P la bornele generatorului conform premiselor și deci:

$$\Delta P_C = -\Delta P_T. \qquad (8)$$

Un regim de condensație și prize de termoficare este caracterizat prin următoarele consumuri specifice de căldură pentru producerea energiei electrice:

— consumul specific brut:

$$q_{br} = \frac{D_0(i_0 - i_{al})\cdot 10^3 - Q_I - Q_U}{P}\ 10^3\ (\text{kJ/kJ}) \tag{9}$$

unde D_0 (kg/s) este debitul de abur viu la intrarea în turbină;

— consumul specific în regim de termoficare:

$$q_T = \frac{1}{\eta_m \cdot \eta_g}\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kJ}}\right] \tag{10}$$

unde η_m şi η_g sînt randamentul mecanic şi respectiv al generatorului;

— consumul specific în regim de condensaţie:

$$q_C = \frac{q_{br}\cdot P - q_T \cdot P_T}{P_c}\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kJ}}\right]. \tag{11}$$

$$P_C = P - P_T = P - Y_I \cdot Q_I - Y_U Q_U. \tag{12}$$

Cu aceste elemente se poate determina variaţia consumului specific brut de căldură datorită variaţiei randamentului intern al turbinei cu relaţia:

$$\Delta q = \frac{\Delta P_C(q_C - q_T) + P_C(q_C^* - q_C)}{P}. \tag{13}$$

2. Aplicaţii la o turbină de tip VPT — 50 — 3

Aplicaţiile numerice au fost efectuate pentru o turbină de tip VPT — 50 — 3, de 50 MW, de condensaţie cu două prize reglabile pentru termoficare, cu parametrii aburului viu 130 ata 565°C, similară cu turbina de tip DSL — 50, aceste tipuri reprezentînd marea majoritate a turbinelor de termoficare instalate în ţara noastră.

Calculele s-au făcut în următoarele regimuri de funcţionare pentru care s-a dispus de rezultatele calculului circuitului termic furnizate de constructorul turbinei (tabelul 1).

Pentru fiecare regim a fost calculată variaţia consumului specific de căldură (brut) pentru producerea energiei electrice Δq, funcţie de factorul de reducere a randamentului intern cu:

$$R_\eta = 0{,}8;\ 0{,}85;\ 0{,}9;\ 0{,}95$$

Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabelul 2.

Pentru a scoate în evidenţă efectul randamentului intern asupra consumului specific în regimuri de termoficare se redă, în figura 1, variaţia relativă a consumurilor specifice funcţie de variaţia relativă a randamentelor avînd drept parametru raportul P_T/P.

Tabelul 1

Regimurile de funcţionare pentru care s-a efectuat calculul consumurilor specifice

Nr. regim	P [MW]	P_T/P	D_0 [t/h]	D_I [t/h]	D_U [t/h]	q_{br} [kJ/kWJ]
1	50	0,9140	292	115	86	4940,6
2	50	0,9139	240	0	160	5083,0
3	40	0,8798	240	95	70	5217,0
4	50	0,85	353	230	0	5564,5
5	50	0	185	0	0	9822,7

Tabelul 2

Variaţia consumului specific brut de combustibil convenţional funcţie de factorul de reducere a randamentului

$\Delta q \cdot 10^{-6}$ [kgc.c./kJ

Nr. regim \ R_η	0,95	0,90	0,85	0,80
I	4,86	9,83	14,91	20,16
2	4,91	9,94	15,11	20,41
3	4,72	9,61	14,49	19,88
4	4,80	9,77	14,88	20,16
5	4,61	9,75	15,47	21,94

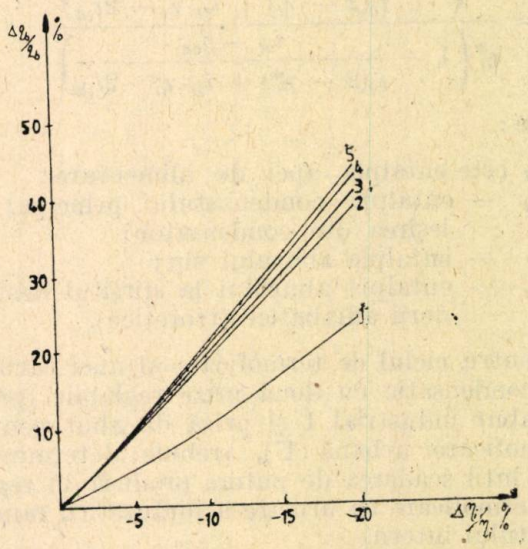


Fig. 1. Variaţia relativă a consumurilor specifice de căldură funcţie de variaţia relativă a randamentelor interne în regimurile analizate.

Analizînd rezultatele se constată că, faţă de regimul de condensaţie cu $P_T = 0$, unde variaţia relativă a consumului specific este de acelaşi ordin de mărime cu variaţia relativă

a randamentului intern, în regimurile cu grad ridicat de termoficare respectiv $P_T/P = 0{,}914$, efectul relativ asupra consumului specific este mult mai mare, variaţia relativă a acestuia atingînd valori practic duble faţă de variaţia relativă a randamentului intern.

3. Principalele cauze care determină scăderea randamentului intern

3.1. Uzura paletajului

Prin uzura paletajului se înţelege deteriorarea gradului de prelucrare (luciul) a suprafeţelor de scurgere a aburului şi a muchiilor de intrare şi ieşire.

Nu se dispune de rezultate experimentale din ţară privind efectul uzurii asupra randamentului intern. Din literatura tehnică şi din ofertele firmelor constructoare se poate aproxima o înrăutăţire uzuală de randament intern de 1—2% între două reparaţii capitale.

3.2. Depunerea de săruri pe paletaj

Depunerea de săruri pe paletajul turbinei, datorată creşterii conţinutului de săruri în aburul viu peste limitele admisibile, este sesizată de creşterea presiunii după treapta de reglare a C.I.P. faţă de situaţia de funcţionare cu paletajul curat. Între două reparaţii capitale această creştere de presiune, la debite de abur viu mari (peste 330 t/h), este de ordinul 2 — 5 bar. Înrăutăţirea randamentului intern în aceste condiţii este de ordinul $2 \div 5\%$.

3.3. Pierderi de abur prin etanşări cu labirinţi

3.3.1. Labirinţi interni

Sînt acei labirinţi care etanşează diafragmele de ajutaje ale treptelor pe rotor.

Prin uzură cresc jocurile între labirinţi şi rotor. În prezent nu se dispune de măsurători pentru determinări de precizie ale debitelor de abur scăpate. De aceea, pentru aproximare se utilizează o relaţie publicată de GECO conf. [3], pe baza căreia influenţa pierderilor normale într-o treaptă asupra randamentului intern este o scădere de 0,06%.

Acceptînd o dublare a jocurilor prin uzură pentru întreaga turbină avînd 28 trepte, înrăutăţirea randamentului intern poate fi de ordinul 2%.

3.3.2. Labirinţi externi

Prin labirinţi externi se înţeleg cei de la capetele rotorului de înaltă presiune şi ale celui de medie-joasă presiune.

Conform relaţiilor de aproximare GECO [3] influenţa scăpărilor normale asupra consumului specific de căldură poate fi apreciată la circa 1%.

Pentru corpul de medie-joasă presiune se admite arbitrar (ca ordin de mărime) o valoare de 0,5%.

Acceptînd şi aici o dublare a jocurilor prin uzură înrăutăţirea totală a randamentului intern poate fi de ordinul 1,5%.

3.4. Pierderi prin drenaje

Pierderile suplimentare prin drenaje au drept cauze principale eroziunea diafragmelor de limitare a drenajelor continue (de exemplu drenajele între prizele de abur) şi scăpări ale armăturilor drenajelor necesare la porniri.

Nu se dispune de date de referinţă şi nici de măsurători pentru drenaje la acest tip de turbină.

Pentru aprecierea ordinului de mărime al influenţei drenajelor asupra randamentului intern, s-a calculat creşterea de entalpie a aburului la ieşirea din turbină datorată unui drenaj mediu cu o entalpie medie a destinderii care ajunge în condensator. În felul acesta un debit de drenaj de 2,8 t/h duce la o înrăutăţire de randament de 1%.

Debitele normale de drenaje continue se găsesc, ca ordin de mărime, mult sub această valoare. În schimb neetanşeităţi de armături de drenaje normal închise pot justifica debite de acest ordin de mărime. Astfel că se pot aştepta înrăutăţiri de ordinul 1 — 2% ale randamentului intern sau chiar mai mari în cazuri de neglijenţă de exploatare sau de întreţiere.

3.5. Funcţionarea cv frecvenţă scăzută

La reducerea frecvenţei şi deci a vitezei periferice a rotorului, are loc creşterea pierderilor interne ale treptelor turbinei, ca urmare a modificării vitezelor aburului la intrarea şi ieşirea din paletele rotorice şi din ajutaje. În felul acesta se reduce randamentul intern al turbinei în ansamblu. Nu se dispune în prezent de rezultate de cercetare de la turbine de tip DSL (VPT) — 50 şi nici de la alte tipuri instalate în ţară.

În cadrul Institutului Politehnic din Leningrad au fost efectuate cercetări privind influenţa reducerii frecvenţei asupra turbinelor de tip K—100—90 şi K—300—240 [4]. Pe baza rezultatelor acestor cercetări se poate aproxima prin asimilare, o înrăutăţire a randamentului intern, în domeniul de funcţionare la 47—48Hz, cu $1 \div 0{,}8\%$.

Concluzii

1. Principalele cauze care conduc la înrăutăţirea randamentului intern al turbinelor sînt: uzura paletajului, depuneri de săruri, deteriorări de etanşări cu labirinţi, drenaje inutile, frecvenţă scăzută. Aceste cauze pot avea efecte (directe sau indirecte) considerabile asupra

randamentului intern al turbinelor; din estimarea orientativă a sumei efectelor posibile, în condiţiile reale de funcţionare ale turbinelor de tip DSL (VPT) — 50 din ţară, rezultă înrăutăţiri de randament în domeniul 8,3 — — 13,5%. Luînd în consideraţie o înrăutăţire medie de randament de 10% aceasta se răsfrînge asupra consumului specific de căldură pentru producerea energiei electrice cu creşteri de 10 — 20 % pentru grad de termoficare P_T/P variind între 0 şi 0,914. Creşterea absolută de consum specific poate fi apreciată pentru aceste condiţii ca o medie de 35 (gc.c./kWh).

2. Dintre cauzele analizate, toate, cu excepţia frecvenţei scăzute, sînt dependente de buna exploatare şi întreţinere a echipamentelor. Se poate constata că influenţa frecvenţei scăzute este relativ redusă, fiind de ordinul 0,8 ÷ 1%.

3. Din analiza cauzelor se constată că nu se dispune în prezent în ţară de metode şi date experimentale necesare pentru analiza şi controlul de precizie suficientă al acestora.

Astfel, în primul rînd pentru urmărirea depunerilor, debitelor de abur prin labirinţi şi drenaje trebuie să fie elaborate mijloace de control. De asemenea, este necesară o metodă de urmărire a evoluţiei în timp a randamentului intern al turbinei, cel puţin pentru partea care funcţionează în zona aburului supraîncălzit.

Bibliografie

[1] * * * *Analiza tehnologiilor de exploatare în vederea îmbunătăţirii funcţionării economice a centralelor termoelectrice*, faza ICEMENERG, 1983.

[2] * * * *Analiza tehnologiilor de exploatare în vederea îmbunătăţirii funcţionării economice a centralelor termoelectrice*, faza I ICEMENERG, 1984.

[3] . . . *Probă periodică de funcţionare — Încercările turboalternatoarelor*. Electricité de France — buletin de informaţie.

[4] * * * *Cercetări privind efectele funcţionării la frecvenţa scăzută asupra producţiei, consumului specific de combustibil şi consumul propriu de energie electrică în centralele termoelectrice*. ICEMENERG, 1984.

(Primit la 21 februarie 1990, acceptat la 13 august 1990)

Îmbunătăţirea instalaţiei de separare la tamburul unui cazan de 210 t/h

Ing. MIRCEA RĂDULESCU, ing. VALERIU BANU, ing. ANA NICULESCU*

Descriptori: cazane de aburi

În exploatarea cazanului de abur de 210 t/h din centrala electrică de termoficare Grozăveşti, s-a constatat calitatea necorespunzătoare a aburului produs de acesta, indicii chimici avînd valori depăşite faţă de cele prevăzute în prescripţii.

În scopul îmbunătăţirii calităţii aburului, s-au efectuat modificări la instalaţia interioară a tamburului, în mai multe etape, urmărindu-se obţinerea unui abur cu indici chimici corespunzători.

În articol sînt prezentate soluţiile aplicate şi rezultatele cercetărilor experimentale efectuate, care au condus în final la rezolvarea problemei.

During the operation of the 210 t/h boiler at Grozăveşti Thermal Plant, inadequate quality of the produced steam, with exceeding the nominal values, had been ascertained.

In several stages, some modifications of the internal installation of the steam drum have been realised, in order to improve the steam quality at the suitable chemical values.

The article describes the sollution applied and the experimental studies results which finally led to salve up the problem.

Introducere

Cazanul de abur de 210 t/h din centrala electrică de termoficare Grozăveşti a fost fabricat de uzina IBZKG din Brno — R. Cehă şi Slovacă. Acesta este un cazan cu circulaţie naturală fără supraîncălzire intermediară cu funcţionare cu gaze naturale sau păcură, avînd următorii parametri nominali:

- debit de abur 58,33 kg/s (210 t/h)
- presiune abur viu 13,7 MPa
- temperatura abur viu 843 K*
- temperatura apei de alimentare 503 K
- presiune nominală abur saturat 16,0 MPa

Reglarea temperaturii aburului supraîncălzit se face cu condensat propriu (sistem Dolezal).

Cazanul a fost pus în funcţiune în anul 1966. În exploatare s-a constatat calitatea necorespunzătoare a aburului produs de cazan, indicii

* Ing. Mircea Rădulescu, ing. Valeriu Banu, ing. Ana Niculescu — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti

** Ulterior temperatura aburului viu a fost redusă la 813K.

chimici ai acestuia avînd valori depășite față de cele prevăzute în prescripții, în special la sarcini ale cazanului mai mari de 75 — 80%. Ca urmare s-au produs mari depuneri de săruri în turbină, ceea ce a afectat siguranța în funcționare și producția de energie electrică și termică a acesteia.

Este cunoscut faptul că separarea emulsiei apă-abur în tamburul unui cazan de abur nu se face complet: la ieșirea din tambur, aburul antrenează o anumită cantitate de picături de apă, împreună cu impuritățile conținute în aceasta (săruri, substanțe în stare coloidală).

Deoarece în dotarea cazanului nu există aparate automate de control chimic (pH — — metre, pNa — metre, conductometre etc.), iar determinarea valorilor indicilor chimici în laborator la probele de apă de puritate mare nu este posibilă din cauza erorilor foarte mari de măsură, practic exploatarea s-a confruntat cu o lipsă totală de informații privind calitatea aburului supraîncălzit la intrarea în turbină.

Indicii fizico-chimici permiși în circuitul apă — abur al cazanului conform normelor actuale din țara noastră [1], sînt prezentați în tabelul 1.

Tabelul 1

Indici normați	Apa de alimentare	Apă cazan treapta salină	Abur saturat
pH	8,5 ± I	—	7
Alcalinitate „p", mval/l — — max.	—	0,3	—
Silice totală, mg/l — max.	0,042	0,5	0,02
Conductivitate electrică, μs/cm-max.	1,71*	30	0,3*

* Măsurată în flux continuu, prin cationit — pentru reținerea volatilelor.

Indicii de calitate ai aburului produs de cazan, precum și indicii fizico-chimici ai apei de cazan la care puritatea aburului la intrarea în turbină corespunde normelor actuale s-au stabilit de către ICEMENERG cu aparatura portabilă din dotare, care a efectuat măsurători termochimice la diferite sarcini ale cazanului. Acești indici sînt prezentați în tabelul 2.

Se observă comportarea nesatisfăcătoare a cazanului sub aspectul regimului chimic, atît în privința purității aburului a cărui conductivitate în funcționarea de durată este mai mare de 0,3 μs/cm, cît și în privința indicilor fizico-chimici ai apei de tambur la care se produce impurificarea aburului, care sînt mult mai mici decît cei admiși de normele actuale și scad pe măsură ce crește sarcina cazanului.

Cu prilejul măsurătorilor s-a remarcat tendința de impurificare a aburului cu precădere cu săruri de sodiu (care dau conductivitate), legat de caracteristica apei brute care nu conține

Tabelul 2

Sarcina cazanului [t/h]	Apă de alimentare		Apa cazan-trapta salină		Abur supraîncălzit	
	Conductivitate electrică corectată pentru volatile [μs/cm]	SiO_2 total (mg/l)	Conduitivitate electrică [μs/cm]	SiO_2 total [mg/l]	Conductivitate electrică corectată pentru volatile [μs/cm]	SiO_2 total [mg/l]
100	0,9	0,04	13,4	0,5	0,4	0,02
160	0,9	0,04	11,4	0,45	0,4	0,02
190	0,9	0,04	8,85	0,36	0,4	0,02
210	0,9	0,04	7,72	0,27	0,4	0,02

silice coloidală. De asemenea, s-a remarcat că la sarcini ale cazanului mai mari de 160 t/h, cu purja continuă deschisă complet, regimul chimic al cazanului practic nu poate fi stăpînit, în special în perioadele de vîrf de consum termic, cînd apa de alimentare se impurifică și din cauza infiltrațiilor de la boilerele de termoficare. Drept urmare a rezultat necesitatea îmbunătățirii separației din tambur; pînă la realizarea acesteia, ICEMENERG a recomandat limitarea sarcinii cazanului sub 170 t/h.

Factorii care influențează antrenarea apei din tambur de către abur pot fi de natură mecanică, independenți de calitatea acesteia. O influență importantă în antrenarea de apă o are mărimea spațiului de abur a tamburului: umiditatea aburului saturat, care exprimă mărimea antrenării de apă, este cu atît mai mică cu cît încărcarea spațiului de abur este mai mică. În general, se poate spune că depunerile de săruri datorate antrenărilor de apă de către abur, se pot reduce prin: scăderea conținutului de săruri din apa de cazan și reducerea antrenărilor de picături de apă de către abur. Scăderea conținutului de săruri din apa de cazan se obține prin tratarea apei de alimentare care determină calitatea apei din cazan și prin purjarea apei din cazan. Antrenările de picături de apă pot fi reduse prin instalarea unor dispozitive perfecționate care să rețină aceste picături; aceasta se realizează prin micșorarea vitezei lor, prin schimbare de direcție, de secțiune sau prin frecare în dispozitivele de separare. Această reținere depinde de mărimea picăturilor care trec prin dispozitiv și de viteza pe care o au la ieșire.

Instalațiile interioare din tambure sînt realizate într-o mare varietate, cu dispozitive de separare bazate pe combinarea diverselor procedee de separare (prin șoc, frecare, centrifugare în cicloane), în funcție și de parametrii de lucru ai cazanului.

1. Instalaţia interioară a tamburului şi îmbunătăţiri aduse acesteia

Tamburul cazanului are o construcţie adecvată vaporizării în două trepte:

— treapta I (curată) prezintă o instalaţie de separare a emulsiei apă-abur, constituită dintr-un ansamblu de cicloane separatoare radial-axiale, care fac separarea apei de abur prin centrifugare. Fiecare ciclon are la partea superioară o sită separatoare de picături, peste care este montat un capac care întoarce curentul de abur, dirijîndu-l spre oglinda apei din tambur (fig. 1*a*).

Aburul separat în cicloane, la ieşirea din tambur trece printr-o instalaţie separatoare de picături cu jaluzele;

— treapta a II-a (salină) situată la extremităţile tamburului este dotată ca şi treapta I cu o instalaţie de separare a emulsiei apă-abur cu cicloane. Aburul rezultat trece printr-o instalaţie de spălare de suprafaţă, spălarea efectuîndu-se cu apă de alimentare.

Apa de alimentare se introduce în treapta I a tamburului; treapta a II-a este alimentată cu apă din prima treaptă prin deschideri practicate în pereţii despărţitori dintre cele două trepte.

În scopul îmbunătăţirii calităţii aburului, s-au efectuat mai multe modificări la instalaţia interioară a tamburului, fiecare etapă de modificări fiind urmată de măsurători termochimice pentru stabilirea eficienţei lor. Aceste etape au fost:

I. Montarea unei instalaţii de spălare a aburului în treapta I a tamburului. Pentru micşorarea conţinutului de săruri din abur s-a prevăzut spălarea lui într-o instalaţie de spălare prin barbotare în treapta I a tamburului, spălarea făcîndu-se cu apă de alimentare a tamburului (fig. 1*b*).

Instalaţia interioară a tamburului s-a completat cu o sită montată în calea aburului, spre separatorul de picături cu jaluzele, pe ea realizîndu-se un strat de apă prin intermediul a două colectoare situate la partea superioară a sitei, alimentate cu apă de la intrarea în tambur.

Măsurătorile termochimice efectuate după montarea instalaţiei, la sarcina de 160 t/h, au evidenţiat o îmbunătăţire a separaţiei din tambur în sensul că indicii fizico-chimici limită ai apei de cazan la care se produce impurificarea aburului au fost ceva mai mari decît înainte, dar nu au atins limitele permise de norme (tabelul 3).

Eficienţa scăzută a spălării cu apă de alimentare se explică prin calitatea necorespunzătoare a apei de alimentare (impurificată de la un boiler de termoficare) şi prin viteza mare a aburului la trecerea prin sită.

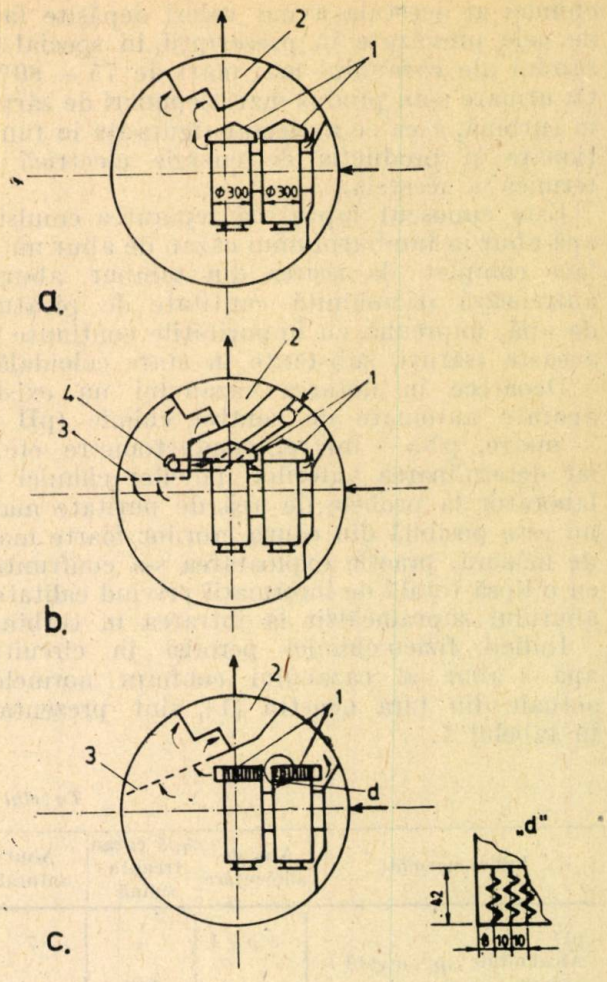


Fig 1. Schema instalaţiei de separare a aburului din tambur: a — schema iniţială; b — schema cu instalaţie de spălare; c — schema îmbunătăţită; 1 — cicloane; 2 — separator cu jaluzele; 3 — scut perforat; 4 — colector de alimentare cu apă de spălare.

Tabelul 3

Denumirea probei	Conţinut de Na [mg/l]	Conductivitate electrică [μs/cm]	SiO_2 total [mg/l]
Apă alimentare	0,38	7,5*	0,04
Apă cazan tr. II	—	15,8	0,45
Abur supraîncălzit	0,08	0,42*	0,02

* măsurată în flux continuu prin cationit pentru reţinerea substanţelor volatile.

II. Suprimarea apei de spălare din cele două trepte ale tamburului La treapta I a tamburului s-au anulat colectorii cu apa de spălare a instalaţiei de spălare a aburului (etapa I), apa de alimentare introducîndu-se la baza tamburului; sita instalaţiei de spălare a rămas ca sită separatoare de picături.

La treapta a II-a a tamburului a fost modificat racordul de apă de alimentare a instalației de spălare a aburului, apa de alimentare introducîndu-se în treapta I a tamburului.

Măsurătorile termochimice efectuate au arătat o îmbunătățire a funcționării instalației interioare de separare față de etapa anterioară, aceasta demonstrînd că prin suprimarea apei de la instalațiile de spălare s-a eliminat fenomenul de antrenare de picături de către abur (tabelul 4), dar cazanul nu a atins performanțele cerute de norme.

Tabelul 4

Sarcina cazanului [t/h]	Denumirea probei	Na^+ [mg/l]	Conductivitate electrică [μs/ m]	SiO_2 total [mg/l]
160	Apă alimentare	0,51	8,9*	0,034
	Apă tr. II st.	—	21,7	0,45
	Abur supraîncălzit	0,05	0,38*	0,02

* măsurată în flux continuu prin cationit, pentru reținerea substanțelor volatile.

III. Instalarea unui scut perforat separator de picături în fața separatorului cu jaluzele existent și înlocuirea capacelor cicloanelor cu capace prevăzute cu lamele separatoare. Analiza rezultatelor obținute în etapele anterioare a condus la concluzia că se impune aplicarea unor soluții de îmbunătățire a instalației de separare a picăturilor de apă din abur. O viteză axială mare de ridicare a aburului în ciclon, duce la antrenarea de picături în spațiul de abur al tamburului.

Micșorarea acesteia și deci îndepărtarea fenomenului se poate face prin mărirea diametrului ciclonului. În acest sens, în cadrul experimentărilor efectuate la Institutul de Cercetări din Brno (VUEZ) s-a verificat un tip de ciclon cu diametrul mărit de la 310 mm la 350 mm cu capac modificat [2]. În cazul tamburului de la cazanul de 210 t/h din CET Grozăvești nu s-au putut înlocui cicloanele existente Ø 300 cu altele noi Ø 350 din cauza dimensiunilor reduse ale gurii de vizitare a tamburului (420 × × 320 mm).

Pentru creșterea eficacității separării la cicloanele existente s-au înlocuit capacele existente ale acestora cu capace prevăzute cu lamele pentru reținerea picăturilor de apă, dimensionate pentru o viteză de curgere a aburului la ieșirea din capac de 0,23 m/s, corelat cu spațiul disponibil din zona de la partea superioară a cicloanelor (fig. 1*c*).

Totodată, din analiză a rezultat că separatorul cu jaluzele de la ieșirea aburului din tambur, avînd o secțiune de trecere a aburului mare, are o rezistență hidraulică mică, ceea ce conduce la creșterea vitezei ascensionale a aburului în spațiul de abur al tamburului, implicit la antrenarea particulelor de apă din tambur [3]. Pentru micșorarea vitezei ascensionale a aburului s-a introdus o rezistență hidraulică în calea aburului, sub forma unui scut perforat, în fața separatorului cu jaluzele (fig. 1*c*). Aceasta a fost dimensionată pentru o rezistență hidraulică de 200 kg/m² [4], respectiv o viteză a aburului în orificiile scutului de 6 m/s, avîndu-se în vedere spațiul disponibil pentru montaj. Introducerea acestui scut contribuie, de asemenea, la o uniformizare a curgerii aburului în lungul tamburului.

După executarea modificărilor (etapa III) ICEMENERG a efectuat măsurători termochimice pentru stabilirea indicilor fizico-chimici limită ai apei de cazan la care aburul își menține caracteristicile de puritate și pentru stabilirea influenței variațiilor parametrilor termici ai cazanului asupra purității aburului.

Analizele s-au efectuat cu conductometrul portabil de laborator și pNa-metrul de laborator din dotarea ICEMENERG, iar probele pentru analizele de Na și SiO_2 s-au recoltat cu frecvență foarte mare (15 minute) pe toată durata încercărilor termochimice la sarcină constantă.

Indicii fizico-chimici limită ai apei de cazan la care aburul își menține caracteristicile de puritate sînt prezentați în tabelul 5.

Tabelul 5

Sarcina cazanului	Apă de alimentare		Apă cazan-treapta salină			Abur supraîncălzit		
	Na [mg/l]	μs/cm*	SiO_2 [mg/l]	μs/cm	SiO_2 [mg/l]	Na** [mg/l]	μs/cm*	SiO_2 [mg/l]
80	0,05	2,3	0,02	36	0,6	0,01	0,3	0,02
100	0,07	3	0,02	35	0,6	0,01	0,3	0,02
160	0,08	3,5	0,02	32	0,6	0,01	0,3	0,02
210	0,12	5	0,02	32	0,6	0,01	0,3	0,02

* Conductivitatea corectată pentru adaosuri volatile (măsurată în flux continuu pe cationit).

** Valoarea de regim.

Pe parcursul măsurătorilor au fost puse în evidență creșteri ale conținutului de sodiu din abur cu 0,005 — 0,02 mg/l, care au coincis cu modificări de scurtă durată ale parametrilor termici ai cazanului (schimbarea pompei de alimentare, înlocuirea unor arzătoare cu altele etc.).

Acest fenomen a fost remarcat și de numeroși cercetători în domeniu [5, 6, 7, 8], care prin măsurători sistematice cu aparate automate

de mare precizie au constatat că aburul se impurifică în timpul oricăror modificări ale regimului de funcţionare (sarcină, presiune, temperatură, purjări intermitente, porniri, testări de pompe şi supape etc.), iar durata impurificărilor variază între cîteva ore şi cîteva săptămîni. Ele pot conduce la formarea depunerilor pe paleţii turbinelor chiar în situaţia în care cazanul are separaţia eficientă şi puritatea aburului produs de cazan este satisfăcătoare în regim normal de funcţionare.

Rezultatele măsurătorilor termochimice finale (tabelul 5) ne permit să concluzionăm că indicii fizico-chimici ai apei de cazan la care aburul îşi menţine caracteristicile de puritate se înscriu în normele în vigoare, fapt care îndreptăţeşte concluzia, că ultimele îmbunătăţiri ale instalaţiei interioare a tamburului (etapa III) sînt eficiente.

Pentru eliminarea impurificărilor accidentale de scurtă durată este necesar să se doteze cazanul cu aparate automate de control al indicilor chimici (pNa-metru, conducmetru, pH-metru, oxigenometru etc.), cu înregistrare şi afişare la camera de comandă termică.

Bibliografie

[1] * * * C 18—85. *Prescripţii tehnice pentru regimul chimic al generatoarelor de abur şi apă fierbinte*, colecţia ISCIR.

[2] Karpisek, J. ş.a. *Erforschung der abscheideeinrichtungen für dampfkesseltrommeln.* In : Skoda revue, nr. 1/88, 22 — 26.

[3] Korsunov, V. A., Jidkin, V. F. *Grubaia i tonkaia osuska para v barabannih kotlah.* În : Energetik, nr. 9/1965, p. 16—18.

[4] Iurenev, V. N., Lebedev, L. A., *Teplotehniceskii sprovocinik*, tom 2. Energia, Moskva, 1976.

[5] Straus, J. D. *Control of Turbine Steam Chemistry*, In : Power, 1981, vol. 125, nr. 3, p. 18.

[6] Hietman, H. C. *Erosioncorrosion in Wasser Damphkreisläufen. Ursachen und Gegenmassnahmen.* In : VGB Kraftwerkstechnik, 1982, vol. 62, nr. 3, p. 211.

[7] Jonas Otkar *Steam turbine corrosion.* In : Material Performance, 1985, vol. 24, nr. 2, p. 9.

[8] Martînova, O. I., Povarov, V. S. ş.a. *Vlianoe rastvorennih v pare primesei na obrazovanie corrozionno-agresivnoi jidkoi fazi v protocinih ciastiah turbini.* In : Teploenergetika, 1984, nr. 4, p. 19.

(Primit la 18 februarie 1990, acceptat la 20 septembrie 1990)

Din enenergetica mondială

SISTEMUL DE TRADUCTOR FOTOACUSTIC BRUEL & KJAER ŞI PROPRIETĂŢILE SALE FIZICE

Monitorul multigaz tip 1302 şi monitorul de gaze toxice tip 1306 Brüel & Kjaer, destinate supravegherii gazelor utilizează principiul spectroscopiei fotoacustice (SFA).

În SFA gazul care trebuie măsurat este iradiat de o lumină intermitentă de lungime de undă predefinită. Moleculele de gaz absorb o parte din energia luminoasă pe care o transformă într-un semnal acustic captat de un microfon. Metoda de măsurare prin SFA este foarte stabilă şi permite detectarea concentraţiilor foarte mici de gaz.

Technical Rewiew, nr. 1/1990 prezintă sistemul de traductoare fotoacustice Brüel & Kjaer, descriind semnalul acustic produs de gaz şi influenţa zgomotului şi a altor semnale parazite asupra funcţionării sistemului.

CEA MAI VECHE CENTRALĂ NUCLEARĂ DIN ANGLIA A FOST DEZAFECTATĂ

Preşedintele CEGB a anunţat oprirea definitivă a centralei nucleare de la Berkeley, Gloucestershire, cea mai veche instalaţie nucleară a ţării. Ea a fost pusă în funcţiune în 1962. După lucrările de întreţinere efectuate în octombrie 1987, primul grup nu a mai fost repornit. Modernizarea centralei ar fi costat prea mult, de aceea s-a luat hotărîrea dezafectării ei.

(După : Revue Générale de l'Electricite, nr. 7, 1989, p. 72)

PROIECT DE CONSTRUCŢIE A DOUĂ CENTRALE EOLIENE IN ITALIA

Capacitatea de producţie a Italiei în domeniul energiei eoliene nu depăşeşte în prezent un megawatt. De aceea ENEL şi-a dat aprobarea pentru aplicarea unui program de 100 miliarde lire (500 milioane franci) privind construcţia a două centrale eoliene, cu o putere unitară de 10 MW. Fiecare din aceste centrale va dispune de 40 de maşini de 250 kW. Echipamentele vor fi înalte de 40 m, iar palele vor avea un diametru de 30 m şi se vor învîrti în plan orizontal. Costul de producere a kilowattului oră ar trebui să fie între 150 şi 200 lire (dublul preţului unui kilowatt-oră produs într-o centrală pe cărbune). Una din centrale va fi construită în Sardinia, iar cealaltă în Molise.

Aportul de energie eoliană va fi evident limitat, iar parcurile eoliene vor crea poluare fonică, dar ecologiştii nu ar trebui să protesteze împotriva acestor instalaţii bazate pe utilizarea noilor surse de energie.

Contribuții privind semnalizarea locală a scurtcircuitelor în rețelele electrice aeriene de medie tensiune

Ș.l. dr. ing. MIRCEA GUȘĂ, ș.l. ing. CONSTANTIN ASAFTEI, prof. dr. ing. NICOLAE GAVRILAȘ, as. ing. MARCEL ISTRATE *

Descriptori: rețele electrice aeriene, scurtcircuite

Lucrarea prezintă mai întîi necesitatea utilizării unor dispozitive de semnalizare a producerii unor scurtcircuite pe liniile electrice aeriene de medie tensiune, ramificate, deoarece echiparea acestora cu întrerupătoare automate este foarte sumară. Pe baza studierii unei ample bibliografii se constată numeroase preocupări pentru această problemă, atît în țară, cît și în străinătate. Se prezintă în mod sintetic funcțiunile și principiile de realizare a acestor dispozitive. De asemenea, se prezintă realizările colectivului de autori în această direcție brevetate, în curs de asimilare în fabricație în vederea implementării în rețele.

The paper presents, in the beginning, the necessity and the advantages of fault indicators utilization on overhead distribution lines because their great number of branches and very small number of power disjunctors. This is a problem of large interest in many industrial countries, what becomes to be studied in România, too. The functions and the principles of their planning are sintetic presented for such fault locators realized until now.
The authors gave a special attention to this problem. They have developped four such locators, recent patended and what are in course of implementation in distribution nettworks.

Introducere

Preocupările energeticienilor îndreptate către perfecționarea funcționării sistemului electroenergetic național se referă, printre altele, la reducerea duratei de întrerupere a alimentării cu energie a consumatorilor și la limitarea numărului de funcționări ale întreruptoarelor în regim de scurtcircuit. Aceste aspecte sînt strîns legate de modul de eliminare a scurtcircuitelor cu ajutorul echipamentului de comutație, în vederea punerii în funcțiune a părții din sistem neafectate de defect.

În cazul rețelelor de înaltă tensiune (110 kV și mai mult) eliminarea zonelor din sistem în care au apărut scurtcircuite se face în mod selectiv cu ajutorul întrerupătoarelor și al protecțiilor prin relee adecvate.

În cazul rețelelor de medie tensiune din țara noastră și mai ales a acelora aeriene din zonele rurale, echiparea cu întrerupătoare automate este redusă la minimum, iar procedeul de eliminare din rețele a porțiunilor în care s-au produs scurtcircuite necesită mult timp și funcționarea repetată a întrerupătoarelor pe scurtcircuit, ceea ce duce la durate mari de întrerupere și uzura întrerupătoarelor.

Astfel, în majoritatea cazurilor structura acestor rețele cuprinde un ax principal, avînd la început un întrerupător automat și numeroase derivații racordate la axul principal prin separatoare care pot fi acționate manual, local, în lipsa sarcinii. În această situație apariția unui scurtcircuit într-o rețea este urmată de deconectarea întrerupătorului, deci a întregii rețele. Urmează apoi depistarea sectorului defect prin deconectarea unui separator de pe o derivație și reconectarea întrerupătorului, operații repetate pînă cînd reconectarea întrerupătorului este reușită, ceea ce arată că a fost deschis separatorul de pe derivația defectă sau mai general vorbind, din amonte de defect.

Acest procedeu, singurul în actualul stadiu de dotare a acestor rețele, presupune mult timp pentru deplasarea echipei de intervenție în rețea, deranjează consumatorii prin întreruperi repetate și de lungă durată, uzează întrerupătoarele prin funcționare repetată pe defect. Aceste aspecte sînt mai frecvente în cazul tratării neutrului rețelelor cu rezistor, în care caz și defectele monofazate (cele mai frecvente) produc deconectarea întrerupătoarelor.

Aceste aspecte sînt prezente și în rețelele similare din alte țări. În cazul Franței [1] s-a trecut la introducerea unor întrerupătoare cu deschidere automată în golul de tensiune creat de deconectarea întrerupătorului principal. Acestea se pot monta pe derivații, dacă avantajul creșterii continuității în serviciu acoperă cheltuielile pentru instalarea lor. Se prevede chiar trecerea la montarea unor întrerupătoare telecomandate în vederea dezvoltării telecomenzilor în aceste rețele.

* Ș.l. dr. ing. Mircea Gușă, ș.l. ing. Constantin Asaftei, prof. dr. ing. Nicolae Gavrilaș, as. ing. Marcel Istrate — Institutul Politehnic, Iași.

Pentru reţelele din ţara noastră, în care probabil modul de echipare cu aparate de comutaţie nu se va schimba curînd, o cale de ameliorare a situaţiei ar putea fi identificarea sectorului defect cu ajutorul unor dispozitive de semnalizare locală, amplasate în anumite locuri în reţea, astfel încît echipa de intervenţie să poată elimina sectorul defect prin deschiderea celui mai apropiat separator din amonte. Instalarea unor asemenea dispozitive este o preocupare destul de amplă pe plan mondial [2 — 11, 14], atît pentru reţele aeriene, cît şi subterane. De asemenea, în ţara noastră există o serie de cercetări şi realizări în ultimul timp [12, 13, 15 — 20].

În cele ce urmează se prezintă o sinteză asupra posibilităţilor principale de realizare a unor indicatoare de defect, precum şi unele rezultate obţinute de autori în această direcţie.

1. Cerinţe funcţionale şi principii de realizare a dispozitivelor de indicare a defectelor

Principalele cerinţe tehice care trebuie îndeplinite de aceste dispozitive, astfel încît să fie realmente utile pentru personalul de exploatare, sînt :

— semnalizarea apariţiei unui scurtcircuit în aval de locul său de montare ;

— anularea semnalizării, fără intervenţia personalului de exploatare, atunci cînd reţeaua este repusă în funcţionare normală ;

— fiabilitate în funcţionarea pe timp îndelungat şi în condiţii variate de temperatură, umiditate, vibraţii mecanice etc. ;

— întreţinere cît mai simplă, dată fiind aria mare de răspîndire şi numărul mare al amplasamentelor ;

— gabarit şi masă cît mai reduse, pentru ca instalarea lor să nu afecteze actualul gabarit al liniilor, respectiv să nu influenţeze nivelul de izolaţie al acestora.

De asemenea, datorită numărului de exemplare potenţial necesar, aspectele economice nu sînt deloc neglijabile, atît prin prisma costului acestor dispozitive, cît şi a materialelor utilizate, de exemplu materiale deficitare.

În privinţa principiilor de realizare tehnică a unor asemenea dispozitive discutarea lor se poate face, sistematizat, luînd în considerare principalele aspecte ale funcţionării lor : sesizarea defectului, semnalizarea defectului, anularea semnalizării ; de asemenea, modul de furnizare a energiei necesare funcţionării constituie o caracteristică constructivă, dar aceasta este strîns legată de funcţiile principale — semnalizarea şi revenirea.

A) În ceea ce priveşte modul de sesizare a regimului de defect, practic, toate realizările existente folosesc mărimea curentului de scurtcircuit în punctul de instalare a dispozitivului, de regulă mult mai mare decît curentul normal de sarcină. Scăderea masivă a tensiunii care însoţeşte regimul de scurtcircuit nu poate fi un criteriu util, aceasta resimţindu-se în toată reţeaua aproape identic. Totuşi, ea poate fi folosită drept criteriu complementar [11] pentru mărirea sensibilităţii în raport cu mărimea curentului de sarcină.

Sesizarea prezenţei curentului de defect are loc prin intermediul cîmpului magnetic creat de acesta. Şi aici există mai multe posibilităţi :

— traductorul de curent să fie situat la potenţialul conductorului, fiind realizat cel mai frecvent sub forma unui electromagnet [9, 10, 12 — 14] sau a unui contact REED [2 — 4, 6 — 8] ;

— traductorul de curent să fie situat la potenţialul solului, fiind realizat ca un senzor de intensitate a cîmpului magnetic [11].

Diferenţa esenţială între cele două soluţii constă în posibilitatea de indicare a fazei defecte. Astfel, în primul caz este necesară instalarea traductoarelor (deci dispozitivelor indicatoare) pe fiecare fază a liniei, iar în al doilea caz este suficient un singur senzor, dar indicarea stării de defect este globală, pentru toate fazele. Energia necesară semnalizării stării de defect este furnizată de linie prin cîmpul magnetic al curentului de scurtcircuit, în cazul traductorului situat la potenţialul conductorului. În celălalt caz preluarea de energie pe această cale este neînsemnată şi este nevoie de o sursă separată pentru alimentarea dispozitivului de semnalizare.

B) Semnalizarea stării de defect se poate face în principiu în mai multe moduri. Dispozitivele realizate, prezentate de literatură, recurg în marea majoritate a cazurilor la o semnalizare vizuală printr-o anumită poziţionare a unui corp mobil. Acesta poate fi un steguleţ colorat, care are mişcare de rotaţie în jurul unei axe orizontale [9, 14], o plăcuţă cu deplasare pe verticală prin cădere [10], un bloc cu sectoare colorate care descrie o mişcare de rotaţie [7, 8], un cilindru vertical cu mişcare de rotaţie avînd suprafaţa laterală colorată alternant în benzi [12].

O soluţie aparte este semnalizarea prin starea de magnetizare a unei piese feromagnetice, al cărui cîmp magnetic are o anumită polaritate pentru indicarea stării normale şi polaritate opusă pentru indicarea stării de defect [2 — 4]. Controlul acestei stări se face cu ajutorul unui instrument indicator portabil de forma unei busole.

Semnalizarea vizuală luminoasă nu este utilizată decît în cazul prezenţei unor surse de alimentare de capacitate mare. Această situaţie nu este obişnuită pentru aceste dispozitive greu accesibile pentru operaţii de întreţinere.

C) Pentru anularea semnalizării stării de defect se poate folosi drept criteriu de recunoaştere

a stării normale de funcţionare, fie prezenţa tensiunii de serviciu, fie circulaţia curentului de sarcină, sensibil mai mic decît curentul de defect.

În cazul unor dispozitive indicatoare dependente de o sursă de alimentare separată (220 V) cel mai comod este a se utiliza însăşi prezenţa acestei tensiuni, dacă ea este condiţionată de tensiunea liniei [7, 8, 14]. O asemenea situaţie este specifică mai ales reţelelor de cabluri.

Utilizarea curentului de sarcină drept criteriu de revenire este posibilă atunci cînd sursa de alimentare cu energie pentru această operaţie o constituie tot curentul de sarcină al liniei [6]. Utilizarea aceleiaşi surse de energie, în prealabil încărcată şi pentru semnalizarea defectului, se poate face uilizînd un alt traductor de curent (de exemplu un contact REED).

O soluţie constructivă mai simplă rezultă prin utilizarea criteriului revenirii tensiunii de serviciu atunci cînd energia pentru anularea semnalizării este acumulată pe cale capacitivă de la linia electrică controlată [3—4]. Aceeaşi sursă este în acest caz utilizată şi pentru semnalizarea defectului, fiind deja încărcată în timpul funcţionării normale anterioare.

Din cele prezentate anterior rezultă implicit şi modul de alimentare cu energie a acestor dispozitive, acesta fiind strîns legat de asigurarea funcţiunilor principale ale dispozitivelor de semnalizare,

În tabelul 1 se prezintă modul de utilizare a acestor posibilităţi de realizare în cazul dispozitivelor de semnalizare studiate.

2. Noi contribuţii la realizarea indicatoarelor de defect pentru reţele aeriene de medie tensiune

Introducerea în reţelele de medie tensiune aeriene din ţara noastră în mod progresiv a metodei de tratare a neutrului cu rezistor a fost însoţită, în mod firesc, de creşterea numărului de deconectări datorate defectelor, îndeosebi a acelora monofazate, iar ca urmare s-a făcut simţită nevoia de dispozitive de semnalizare a sectoarelor cu defecte. În cadrul unei colaborări de cercetare ştiinţifică pe bază de contract cu I.R.E. Iaşi [15] colectivul nostru a studiat problemele legate de realizarea unor asemenea dispozitive, realizînd cîteva aparate, avînd principii de funcţionare parţial diferite.

O primă variantă realizată [16] are schema electrică de principiu prezentată în figura 1.

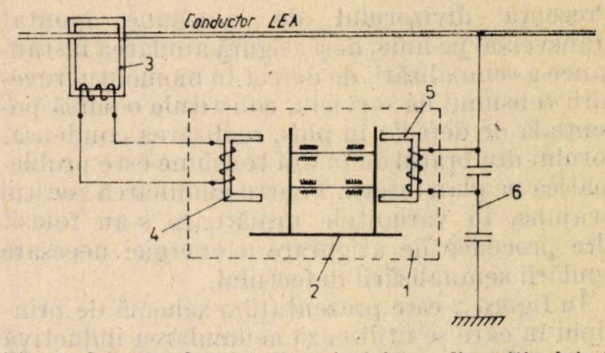


Fig. 1. Schema electrică de principiu a dispozitivului de semnalizare cu condensator adiţional.

În componenţa dispozitivului intră un releu de semnalizare (1) de construcţie originală supus acţiunii unor excitaţii care corespund regimului de defect, respectiv regimului de funcţionare

Tabelul 1

Variante constructive ale dispozitivelor indicatoare

Nr. crt.	Dispozitivul (referinţe bibliografice)	Criterii de semnalizare	Mod de semnalizare	Criterii de revenire	Sursa de energie
1	2—4	curent de defect	magnetizare remanentă	tensiune de serviciu	acumulare capacitivă
2	6	curent de defect	tip indicator poziţie	curent de sarcină	curent de sarcină
3	7	curent de defect	tip indicator poziţie	tensiune de alimentare	reţea JT
4	8	curent de defect	disc cu sectoare colorate	tensiune de alimentare	reţea JT
5	9	curent de defect	plăcuţă basculantă	manual	fără
6	10	curent de defect	tijă verticală	curent de sarcină	fără
7	12	curent de defect	cilindru rotitor cu benzi	tensiune de serviciu	acumulare capacitivă
8	13	curent de defect	plăcuţă basculantă	curent de sarcină	curent de sarcină
9	14	curent de defect	plăcuţă basculantă	tensiune de alimentare	reţea JT
10	20	curent de defect	plăcuţă culisantă	tensiune de serviciu	acumulare capacitivă

normală a liniei. În figura 1 poziția elementului de semnalizare (2) corespunde stării normale de funcționare a rețelei. În regim de scurtcircuit curentul de defect determină, prin intermediul transformatorului de curent (3) și al electromagnetului (4), deplasarea spre stînga a armăturii mobile, semnalizîndu-se astfel starea de defect. Această poziție se menține și după deconectarea liniei. După remedierea defectului, în momentul repunerii liniei sub tensiune, electromagnetul (5) racordat la divizorul capacitiv (6) este alimentat și determină deplasarea la dreapta a armăturii mobile, deci și a elementului de semnalizare, indicîndu-se starea de funcționare normală. Chiar dacă, în regim normal de funcționare, curentul de sarcină are valoare mare armătura mobilă își păstrează poziția, fiind mai aproape de electromagnetul (5) alimentat de la divizorul de tensiune.

Prezența divizorului de tensiune montat transversal pe linie, deși asigură anularea instantanee a semnalizării de defect în momentul revenirii tensiunii de serviciu, constituie o sursă potențială de defect; în plus, realizarea condensatorului din brațul de înaltă tensiune este problematică pe plan intern. Pentru eliminarea acestui neajuns, în variantele următoare s-au folosit alte procedee de asigurare a energiei necesare anulării semnalizării defectului.

În figura 2 este prezentată o schemă de principiu în care se utilizează acumularea inductivă a energiei de la curentul de sarcină [17]. În acest scop este introdus un alt transformator (2), de la a cărui înfășurare secundară este alimentată schema de redresare cu multiplicarea tensiunii (4). După atingerea tensiunii de amorsare a eclatorului (5), energia acumulată este transmisă releului de semnalizare care își modifică poziția, anulînd indicația de defect. În această situație, armătura mobilă închide un contact (6) prin care se evită reîncărcarea schemei de acumulare, în scopul reducerii solicitării condensatoarelor din blocul (4). Releul de semnalizare (1) s-a realizat aici în două variante: în prima elementul de semnalizare are o mișcare de translație, iar în cealaltă o mișcare de rotație în plan orizontal. În acest caz se înlătură necesitatea montării perfect orizontale a dispozitivului. De remarcat faptul că sistemul de acumulare a energiei funcționează chiar și în cazul curenților de sarcină foarte reduși, deoarece între conductorul liniei și înfășurarea secundară a transformatorului (2) există un cuplaj capacitiv. Viteza de acumulare a energiei va fi direct proporțională cu intensitatea curentului prin conductor, fiind minimă la mersul în gol al liniei. Durata de la stabilirea regimului normal, pînă la înlăturarea semnalizării defectului urmează o evoluție inversă. Ca dezavantaj al acestei soluții putem menționa folosirea a două transformatoare pentru racordarea la linie, dintre care al doilea trebuie să aibă înfășurarea secundară destul de voluminoasă.

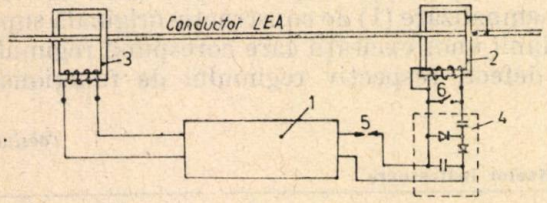


Fig. 2. Schema dispozitivului de semnalizare cu acumulare inductivă.

În varianta următoare [18], dezavantajul menționat este eliminat prin reunirea funcțiilor celor două transformatoare într-unul singur cu mai multe înfășurări. Apare astfel necesitatea unor contacte de șuntare a unor înfășurări pentru a selecta cîte o singură mărime aplicată releului de semnalizare în cele două regimuri de lucru. Totodată s-a folosit o nouă variantă de releu de semnalizare obținută prin modificarea unui releu de serie, tip RIB-1 bistabil, în vederea măririi cursei armăturii mobile și realizării interblocajelor menționate.

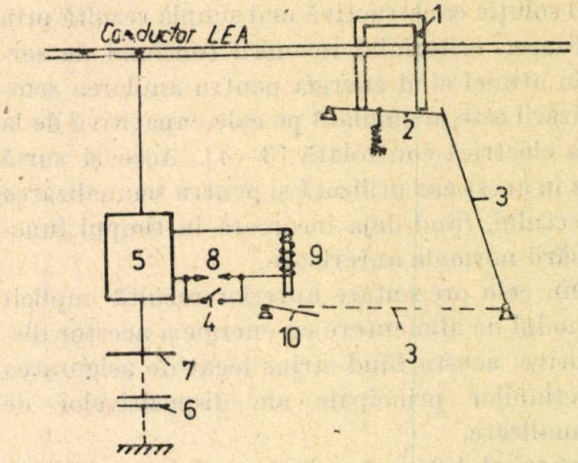


Fig. 3. Schema dispozitivului indicator cu acumulare capacitivă de energie.

Tendința de simplificare constructivă și de reducere a gabaritului, masei și prețul dispozitivului de semnalizare s-a concretizat mai deplin în ultima variantă [19]. În figura 3 este redată schema acestui dispozitiv, în poziția de semnalizare a regimului normal de funcționare.

Pentru sesizarea regimului de defect este prevăzut miezul magnetic deschis (1) care înconjoară conductorul LEA și care se poate închide prin atragerea lamelei feromagnetice (2), situație în care elementul de semnalizare (3) cade, ocupînd poziția orizontală (figurată cu linie întreruptă), fiind vizibil de la nivelul solului. În această situație el deschide contactul (4), pregătind dispozitivul pentru anularea semnalizării stării de defect. După eliminarea defectului și repunerea liniei sub tensiune, în circuitul de redresare cu multiplicarea tensiunii (5) se acumulează

energie datorită curentului capacitiv care circulă între conductorul liniei și pământ prin capacitatea parazită (6) dintre carcasa dispozitivului (7) și pământ. În momentul atingerii tensiunii de amorsare a eclatorului (8) această energie este transmisă releului (9), care își atrage brusc armătura mobilă (10) lovind elementul de semnalizare pe care îl aruncă în sus; acesta își menține poziția ridicată, fiind reținut de lamela feromagnetică (2). În această poziție elementul de semnalizare nu mai este vizibil de pe sol și totodată permite să se închidă contactul (4), împiedicînd reîncărcarea circuitului de semnalizare (5).

În privința parametrilor tehnici menționăm că la toate variantele prezentate, pragul de funcționare a semnalizării poate fi reglat, valoarea minimă fiind pentru o intensitate de circa 60 A a curentului prin conductorul liniei, putînd astfel sesiza și defecte monofazate cu rezistență de defect medie.

Limita superioară este de ordinul a 100—150 A pentru a depăși cel mai mare curent de sarcină posibil. Aceleași dispozitive pot funcționa și la defecte polifazate, fiind prevăzute mijloace de protecție adecvate pentru înfășurările de joasă tensiune ale transformatoarelor de cuplare cu linia.

În privința anulării semnalizării aceasta are loc cu întîrzieri diferte în raport cu momentul repunerii liniei sub tensiune, în funcție de modul de furnizare a energiei necesare acestei funcțiuni. Acest timp este cel mai îndelungat în cazul acumulării capacitive. Reducînd necesarul de putere a releelor de revenire și folosind pentru racordare la sursa de energie eclatoare cu electrozi plani, se poate coborî această întîrziere la 60—90 secunde.

Rezultatele menționate au fost verificate cu ocazia încercărilor, atît în laborator, cît și în condiții reale într-o rețea de 20 kV, rurală.

Comparînd cu alte realizări din acest domeniu, aceste performanțe sînt cel puțin la fel de bune, iar pentru ultima variantă [19] consumul de materiale deficitare este minim.

Concluzii

Introducerea unor dispozitive indicatoare a producerii scurtcircuitelor pe conductoarele LEA prezintă mare interes pentru exploatarea acestor rețele, deoarece se poate obține cu cheltuieli reduse o reducere substanțială a duratei întreruperilor în alimentarea cu energie a consumatorilor. Există o largă preocupare în acest sens, atît în țară, cît și în străinătate, constatîndu-se o mare diversitate de principii de funcționare și soluții tehnice de realizare a acestora.

Autorii s-au preocupat de studiul acestei probleme care a devenit acută în condițiile extinderii metodei de tratare a neutrului cu rezistor și în rețelele aeriene din țara noastră.

Autorii au realizat și experimentat o serie de dispozitive de semnalizare, destinate rețelelor aeriene cu neutrul tratat prin rezistor, îmbogățind gama realizărilor cunoscute, îmbinînd rezolvarea aspectelor tehnice cu a acelora economice.

Bibliografie

[1] Schmeltz, I., Cobane, E. *Principales options techniques d'E.D.F. Réalisation des réseaux ruraux.* In: R.G.E., 1977, nr. 11, pag. 857—876.

[2] Schweitzer, E. O. *Fault indicator with combined trip and reset winding.* Patent S.U.A., Go1R 31/02 nr. 4438403, martie, 1984.

[3] Schweitzer, E. O. *Fault indicator having increased sensitivity fault curents.* Patent S.U.A., Go8B21/00, nr. 4424512, ian. 1984

[4] Schweitzer, E. O. *Fault indicator having a remote test point at which fault occurence is indicated by change in magnetic state.* Patent S.U.A. Go1 R31/02, nr. 4. 456198, iulie 1984.

[5] Muench, Fr. *Fault indicators: types, strengths and applications.* In: IEEE Transactions on PAS vol. 103, nr. 12, dec. 1984, pag. 3688—3693.

[6] Kraus, R. *Schaltungssanordnung für einen selbstruckstellender kurzschlusstromanzeiger mit induktiver Resonanzkopplung an Hochspannungsleiter.* Patent R.D.G., G01 31/08, nr. 226660, august, 1985.

[7] Kraus, R. *Selbstruckstellender kurzschlusstromanzeiger für Transformatorstationen in Mittelspannungsnetzen.* Patent R.D.G., G01 R31/08, nr. 227259, septembrie, 1985.

[8] Ceremisin, N. M. *Ukazateli korotkovo zamîkania.* Patent U.R.S.S., G01 R31/08 nr. 1183925, octombrie 1985.

[9] Malisko, I. F. *Ukazateli oporî s povrejdennoi izoliații.* Patent U.R.S.S., Go1 R31/08, nr. 1190313 nov. 1985.

[10] Koleinikov, A. P. *Ukazateli korotkovo zamîkania.* Patent U.R.S.S., G01 R31/08, nr. 1215008, febr. 1986.

[11] Gjermsted, I. *Fault indicators on overhead distribution lines are cost effective.* In: Modern Power Systems, 1987, august, pag. 63—67.

[12] Poncea Ruse, M. *Dispozitiv de semnalizare a supracurenților pe LEA de medie tensiune.* Brevet R.S.R., nr. 91499/1987.

[13] Glovațki, U. G. *Ustroistvo dlia opredelenia napravlenia poiska korotkovo zamîkania,* Brevet U.R.S.S., G01 R31/08, nr. 1396098, mai 1988.

[14] Rotariu, S. *Clapetă de semnalizare.* Brevet R.S.R., nr. 92817/1987.

[15] Gavrilaș, N. *Posibilități de determinare a derivației cu defect monofazat într-o rețea aeriană de medie tensiune având neutrul tratat cu rezistor.* Contract cercetare nr. 4266/1986, I. P. Iași.

[16] Guș ă, M. *Dispozitiv de semnalizare a scurtcircuitelor monofazate în rețelele aeriene de medie tensiune.* Brevet R.S.R., nr. 99561, 1989.

[17] Asaftei, C. *Dispozitiv pentru semnalizarea scurtcircuitelor în rețele aeriene de medie tensiune.* Brevet R.S.R., nr. 99562.

[18] Asaftei, C. *Dispozitiv pentru semnalizarea scurtcircuitelor.* Brevet R.S.R., nr. 99563/1989.

[19] Asaftei, C. *Dispozitiv de semnalizare a scurtcircuitelor.* Brevet R.S.R., nr. 99564/1989.

[20] Hristea, V. *Dispozitiv de semnalizare a curentului de scurtcircuit pentru rețele electrice aeriene de 20 kV, tip DSL-1.* In: Buletin informativ nr. 16/1989, M.E.E.-CIRE.

(Primit la 12 iunie 1990, acceptat la 8 august 1990)

Valorificarea surselor de căldură cu temperaturi scăzute în instalații cu absorbție amoniac-apă

Ing. IOAN CARP*

Descriptori : instalații cu absorbție, soluții amoniacale, economie de căldură

Articolul descrie unele considerații teoretice și practice ce permit utilizarea a două surse de căldură cu potențial termic redus pentru pomparea căldurii sau producerea frigului prin intermediul unei noi instalații de absorbție-desorbție amoniac—apă.

În interiorul unei instalații se utilizează sistemul chimic, heterogen, reversibil în două faze cu compușii NH_3 și H_2O, în care compusul NH_3 are rol de agent termic.

Interacțiunile exterioare și interioare între sursele de căldură și sistemul chimic modifică parametrii și starea de agregare, generînd două sisteme deschise și cu parametri diferiți (presiune P, temperatură T, concentrație ξ, $f(P, T, \xi) = 0$), ceea ce permite pomparea energiei termice prin efectul de absorbție-desorbție.

The article describes some theoretical and practical considerations for the use of two reduced temperature heat sources for heat pumping or cold (artificial cold) production through a new ammonia-water absorption-desorption plant.

Inside the plant it is used the chemical heterogeneous two phases reversible system, with NH_3 and H_2O as composants and NH_3 heat carrier.

The external and internal interactions between the heat sources and the chemical system modifient the parameters and the state of aggregation, generating two open systems : α and β with various parameters (pressure P, temperature T, concentration ξ, $f(P, T, \xi) = 0$) which enables the thermal energy pumping through the absorption-desorption effect.

Introducere

Pomparea energiei termice de la o sursă cu temperatură scăzută la o sursă cu temperatură mai înaltă prin intermediul unei instalații cu absorbție sau resorbție, utilizînd soluții binare amoniac-apă, presupune un consum de energie termică la o temperatură suficient de ridicată, fenomen ce nu poate fi obținut decît prin consumarea unui combustibil. Eficiența unei astfel de instalații este inferioară instalațiilor cu comprimare de vapori și din aceste considerente utilizarea acestora este legată de instalații care produc abur în alte scopuri. Funcționarea unei instalații termice cu absorbție amoniac-apă de acest tip impune existența a două surse termice cu ΔT redus, respectiv deșeuri termice combinate cu apa de intrare, apa termală în combinație cu apa de suprafață etc.

1. Considerații teoretice

Transferul de căldură de la o temperatură oarecare T_2 la o temperatură superioară T_2' în instalațiile cu comprimarea vaporilor utilizează fenomenele de transformare de fază a unui component pur, prin vaporizarea acestuia la o presiune $P_1 = f(T_2)$, compresie mecanică cu aport de energie exterioară pînă la presiunea $P_2 = f(T_2')$, respectiv pînă la crearea condițiilor de condensare la o temperatură superioară, după care condensul se returnează prin laminare din condensator în vaporizator.

Dacă se are în vedere că la nivel microfizic moleculele unei substanțe se caracterizează prin masă și energie, iar temperatura unei substanțe este o măsură a energiei cinetice a moleculelor sale, putem concluziona că energia mecanică de comprimare a vaporilor conduce la creșterea temperaturii la nivel macrofizic prin aportul de energie asupra moleculelor care compun substanța respectivă. În aceste condiții putem considera că fenomenele de vaporizare și condensare ale unui agent termic pur sînt de forma $f(P \cdot T) = 0$.

În cazul soluțiilor binare, însă, fenomenele de desorbție și absorbție implică trei parametri, respectiv presiunea, temperatura și concentrația, adică $f(P, T, \xi) = 0$, ceea ce conduce implicit la ideea că dacă în cazul sistemelor fizice modificarea unui parametru implică o singură condiție, în cazul sistemelor chimice aceeași modificare implică doi parametri.

În cazul concret al soluției binare amoniac-apă legătura între parametri are forma $\lg P = f\left(\frac{1}{T} \cdot \xi\right)$, sau mai detaliat $\lg P = 7{,}964 - \frac{1220}{0.00466\,\xi + 0.656} \cdot \frac{1}{T}$ [1].

Este cunoscut faptul că dizolvarea amoniacului în apă produce efecte exotermice și că dizolvarea amoniacului gazos în apă se face cu abateri importante de la legea lui Henry, respectiv prin reacții chimice apar specii moleculare noi, care la nivel macrofizic caracterizează concentrația soluției [2].

* Ing. Ioan Carp — IRE Tg. Mureș.

Ţinînd cont de parametrii care caracterizează echilibrul unui sistem chimic şi în speţă a soluţiei amoniac—apă se poate afirma că temperatura unei soluţii la presiune constantă poate fi influenţată în limite foarte largi prin desorbţia amoniacului dintr-o soluţie de concentraţie $\xi_1 = 1$ [$T_1 = f(P)$] şi absorbţia acestuia într-o soluţie de concentraţie $\xi_2 \ll 1$ $T_2 = f(P\ 1\ \xi_2)$.

În esenţă se pune problema de a produce desorbţia amoniacului dintr-o soluţie a cărei concentraţie să fie cît mai aproape de unitate şi respectiv absorbţia vaporilor într-o soluţie de concentraţie minimă. Din aceste considerente instalaţia trebuie să cuprindă componente în care să se realizeze prepararea unor cantităţi de soluţie de concentraţie $\xi_1 \cong 1$ şi $\xi_2 \ll 1$, prin utilizarea unor surse de căldură cu diferenţă de potenţial termic redus, soluţii care ulterior să fie utilizate pentru transferul energiei termice.

2. Prepararea soluţiilor binare amoniac-apă cu diverse concentraţii [3]

O soluţie amoniacală aflată într-un recipient are parametrii determinaţi P_x, ξ_x, T_x, dacă în toate punctele aceste mărimi rămîn constante.

Dacă asupra unui recipient în care se află soluţie amoniacală de concentraţie ξ_x se aplică prin intermediul a două serpentine două temperaturi diferite T_1 şi T_2 ($T_1 < T_2$), respectiv T_1 la partea superioară şi T_2 la partea inferioară, soluţia îşi modifică concentraţia prin schimb de masă şi energie prin stratificarea acesteia şi apariţia unei noi presiuni, respectiv la partea superioară $\xi_{1max} = f\left(P_{x1}\frac{1}{T_1}\right)$, iar la partea inferioară $\xi_{1min} = f\left(P_{x1}\frac{1}{T_2}\right)$. Fenomenul este posibil deoarece densitatea amoniacului este mult mai mică decît densitatea apei, ceea ce denotă că densitatea soluţiei este funcţie de concentraţie.

Astfel aplicarea unei diferenţe $\Delta t = 30°C$ la care $t_1 = 0°C$ şi $t_2 = 30°C$ şi utilizarea unei soluţii de concentraţie predeterminată ξ_{x1} determină apariţia la partea superioară a unei presiuni $P_{x1} = 4$ ata şi $\xi_{1max} = 0{,}93$, iar la baza recipientului un strat de concentraţie $\xi_{1min} = 0{,}47$.

Introducerea soluţiei de concentraţie ξ_{1min} într-un alt recipient supus aceloraşi condiţii de temperatură duce la stratificaţia acesteia şi la apariţia concentraţiilor $\xi_{2min} < \xi_{1min}$, $\xi_{2max} < \xi_{1max}$, $P_{x2} < P_{x1}$. Continuînd operaţia cu n recipiente şi recircularea soluţiei maxime şi minime între acestea ajungem în final ca în recipientul 1 să avem la partea superioară concentraţia $\xi_{1max} \cong 1$, iar la baza recipientului n, $\xi_{n,min} \ll 1$, respectiv $P_{x1} \gg P_{xn}$.

3. Pomparea căldurii

Colectarea soluţiei de concentraţie ξ_{1max} într-un vaporizator la temperatura sursei calde T_2 duce la creşterea substanţială a presiunii $P_D > P_{x1}$ şi la formarea unor vapori de amoniac a căror concentraţie este practic egală cu 1; caracteristicile subsistemului nou creat (α) se pot considera identice cu cele ale amoniacului pur.

Introducerea soluţiei de concentraţie minimă de la baza ultimului recipient într-un absorbitor la aceeaşi temperatură T_2 formează un al doilea subsistem (β) ai căror parametri sunt mai mici decît ai subsistemului α, ($P_A < P_D$), ($\xi_{1max} > \xi_{n\,min}$).

Punerea în contact a vaporilor din subsistemul α cu soluţia din subsistemul β duce la mărirea factorilor de echilibru din absorbitor, ceea ce conduce la deplasarea echilibrului în sensul absorbţiei energiei (latente) corespunzător factorului modificat (principiul deplasării echilibrului Le Chatelier-Braun) [2].

În mod concret temperatura soluţiei din absorbitor va creşte de la T_2 la T_2' ca urmare a absorbţiei vaporilor de amoniac sub o presiune practic egală cu P_D.

În procesul de absorbţie, atît soluţia binară $\xi_{n,min}$, cît şi vaporii din vaporizator se introduc la baza absorbitorului, iar fluidul care preia căldura circulă printr-o serpentină verticală de la partea superioară la bază, ceea ce duce la apariţia unei temperaturi variabile între T'_2 şi T_2 ($T'_2 > T_2$) concomitent cu creşterea concentraţiei pe verticală, respectiv între

$$\xi_{n,min} = \xi_{A'min} = f\left(PD\frac{1}{T_2'}\right) \text{ şi } \xi_{A,max} = f\left(P_D\frac{1}{T_2}\right).$$

Soluţia de concentraţie maximă din absorbitor, ξ_{Amax}, este returnată în bateria de recipiente, care produc soluţii de concentraţie maximă şi minimă.

4. Producerea frigului

Instalaţia de producere a frigului este similară cu cea de pompare a căldurii, cu observaţia că amoniacul din recipientul 1 este adus în vaporizator prin laminare la o presiune corespunzătoare care determină temperatura dorită T_1' ($T_1' < T_1$) $P_D = f(T_1')$.

În procesul de producere a frigului se au în vedere condiţiile de absorbţie, respectiv $P_D > P_A$, iar fluidul care preia căldura de la soluţia binară intră în serpentină cu temperatura T_1.

5. Rezultate practice

Punerea în evidenţă a posibilităţilor de utilizare a surselor termice cu diferenţe de potenţial redus s-a realizat pe o instalaţie cu soluţie binară amoniac — apă pentru pomparea căldurii (fig. 1), în condiţiile şi rezultatele evidenţiate în continuare.

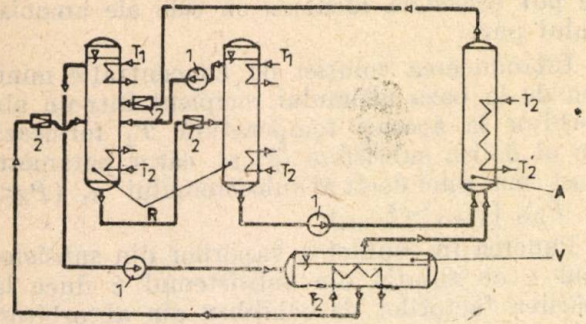


Fig. 1. Schema pompei de căldură: R — recipienţi reducere concentraţie; V — vaporizator; A — absorbitor; 1 — pompe recirculare; 2 — ventile laminare.

— Sursa rece utilizată $T_1 = 11°$ C
— Sursa caldă $T_2 = 35°$C
— Presiunea în vaporizator $P_D = 12$ ata $11{,}74 \cdot 10^{-6}$ Pa
— Presiunea în absorbitor $P_n = 3{,}2$ ata $3{,}15 \cdot 10^{-6}$ Pa
— Debitul de apă încălzit $G = 0{,}360$ m³/oră.
— Temperatura apei calde la ieşire din absorbitor $T_2' = 72°$C.
— Energia consumată pentru recircularea soluţiei binare $E = 0{,}38$ kWh
— Eficienţa instalaţiei

$$\varepsilon = \frac{G(T_2' - T_2)}{E \cdot 860} = \frac{360 \cdot 37}{0{,}38 \cdot 860} \cong 43.$$

La calculul eficienţei s-a luat în considerare numai energia electrică necesară acţionării pompelor de recirculare a soluţiei binare în interiorul instalaţiei, energia termică a celor două surse fiind considerată fără valoare.

Concluzii

Utilizarea unor surse de căldură cu diferenţe de potenţial termic redus pentru pomparea căldurii sau producerea frigului cu ajutorul instalaţiilor de absorbţie conduce la eficienţe sporite faţă de instalaţiile clasice, deoarece utilizează surse fără valoare economică.

Utilizarea soluţiei binare $NH_3 + H_2O$ poate fi substituită cu alte soluţii mai puţin toxice cu condiţia ca elementele componente să prezinte caracteristici fizice şi chimice adecvate.

Bibliografie

[1] Radcenco, V. *Instalaţii de pompe de căldură*. Editura Tehnică, 1985, Bucureşti.

[2] Săndulescu, D. *Chimie. Fizică*. Vol. I, ediţia 1979.

[3] Carp, I. *Instalaţie termofrigorifică*. Brevet invenţie R.S.R. 100.042.

(Primit la 2 iulie 1990, acceptat la 7 august 1990)

Tehnologii moderne pentru frînarea formării de NO_x în procesele de ardere din focarele cazanelor de abur

Prof. dr. ing. CORNEL UNGUREANU, as. dr. ing. IOANA IONEL, as. ing. PAUL DAN OPRIȘA*)

Descriptor: procese de ardere, formare NO_x, cazane de abur

În flăcările staționare, la presiuni normale, se formează oxizi de azot în funcție de condițiile de ardere. Așa de exemplu, la temperaturi înalte se formează NO care însă, sub 1000 K se oxidează în NO_2. În gazele de ardere s-a identificat în special NO (95 % din oxizii de azot conținuți în gazele de ardere). Pentru reducerea formării NO_x-ului termic conform mecanismului Zeldovici, se impun reducerea temperaturii și a timpului de staționare a materialului combustibil în zonele cu temperaturi înalte. Formarea NO_x-ului prompt, respectiv a celui ce provine de la azotul din combustibil se poate reduce atît prin micșorarea temperaturii, cît și a conținutului de oxigen din spațiul de ardere.

În încheiere se face o trecere în revistă prin exemplificare a măsurilor tehnice primare ce au drept scop reducerea formării de NO_x în focarele generatoarelor de abur: recircularea de gaze, proiectarea și dimensionarea focarului în scopul reducerii temperaturii teoretice adiabatice de ardere și a timpului de staționare a combustibilului în zonele cu temperaturi înalte, arderea în trepte și combustorul tip antefocar cu evacuarea cenușii în stare lichidă.

At normal pressure, in steady flames, dependent on combustion conditions, nitrogen oxides are formed.

At high temperatures, for instance, NO is formed, which oxidate however under 1000 K, in NO_2. In combustion gases it was identified especially NO (95 % from nitrogen oxides contained in combustion gases). To reduce the generation of termic NO_x according to Zeldovici mechanism, it is necessary to decrease the temperature and the stand time of combustible matter in high temperature zones. Expedite NO_x formation — of that emerging form the nitrogen existing in the fuel, can be reduced both decresing the temperature and the oxygen content in the burning space.

Finally a survey is made, with the exemplification of the primary technical measures intended to reduce NO_x formation into furnace heating chambers of steam generators: combustions gases recirculation, furnace design and sizing in order to diminish the theoretical adiabatic temperature of combustion and the stand time of combustible matter in high temperature zones, stage burning and the prefiring type combustor with liquid-ash removal.

Introducere

Acțiunea toxică și corosivă a oxizilor de azot este îndeobște recunoscută, chiar dacă nu sînt complet elucidate anumite mecanisme intime prin care se acționează asupra organismului uman, asupra plantelor și viețuitoarelor, asupra unor materiale metalice sau de construcții. În lucrările [1, 2] se face o analiză cuprinzătoare asupra efectelor nocive ale oxizilor de azot cunoscuți sub denumirea de NO_x.

Avîndu-se în vedere proprietățile toxice și corosive ale NO_x-ului, în țările industrializate au fost stabilite concentrațiile maxime și medii admise atît la locul de muncă, cît și în zona exterioară [3, 4], iar în țările puternic industrializate și cu densitate ridicată a populației în aglomerările urbane, s-au stabilit, în funcție de calitatea combustibilului și modul său de ardere, concentrațiile maxime în gazele de ardere care ies din coșul de fum [5, 6, 7, 8, 9]. Aceste concentrații impuse se pot realiza, pe de o parte, prin adoptarea unor tehnologii moderne pentru frînarea formării de NO_x în procesele de ardere, iar, pe de altă parte, prin prevederea unor instalații adecvate pentru curățirea gazelor de ardere înainte de a fi evacuate pe coș.

Pornind de la mecanismul formării oxizilor de azot, prezentul articol își propune să prezinte căile și metodele folosite pînă în prezent în vederea micșorării producerii de NO_x în procesele de ardere a cărbunelui în stare de praf.

Literatura de specialitate [1, 5, 6, 9, 10, 11] admite existența a trei mecanisme de formare a NO_x, și anume:

— mecanismul termic, denumire atribuită oxidării azotului din aerul necesar arderii;

— mecanismul de formare a oxidului de azot din azotul existent în compoziția cărbunelui;

— mecanismul formării oxidului de azot prompt sau timpuriu.

În cazul arderii cărbunilor formarea oxidului de azot prompt poate fi chiar neglijată [11].

Mecanismul termic de oxidare a azotului a fost descris de Zeldovich, prin relațiile:

$$N_2 + O \rightarrow NO + N \quad (1)$$

$$N + O_2 \rightarrow NO + O \quad (2)$$

$$N + OH \rightarrow NO + H \quad (3)$$

* Prof. dr. ing. Cornel Ungureanu, as. dr. ing. Ioana Ionel, as. ing. Paul Dan Oprișa — Facultatea de Mecanică, Institutul Politehnic „Traian Vuia", Timișoara.

Din cauza valorilor mari ale energiei de activare, mai ales pentru reacția (1), mecanismul este dependent de temperatură, astfel încît, sub 1500 K, în cazul focarelor cu praf de cărbune acest mecanism joacă un rol secundar. Se apreciază că la focarele cu evacuarea cenușii în stare uscată (pulverulentă) contribuția acestui mecanism este de aproximativ 20%, iar la focarele cu evacuarea cenușii în stare lichidă poate să atingă chiar 50%.

Partea cea mai importantă de NO, rezultat la arderea cărbunelui, provine din reacția azotului din combustibil, existent în acesta sub formă de combinații aromatice și alifatice, cu oxigenul existent în flacără. Acest mecanism nu este atît de dependent de temperatură, cît mai ales de concentrația oxigenului în zona de ardere.

Schema de principiu a fazelor și mecanismului prin care trece o particulă de cărbune, care ajunge într-un mediu fierbinte, este prezentată în figura 1.

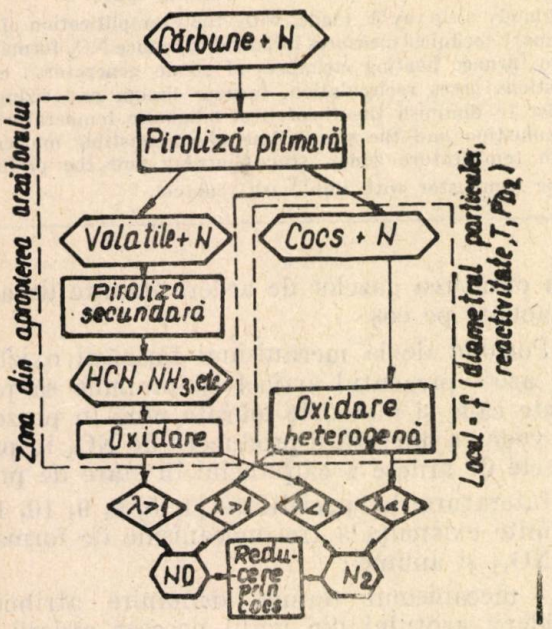


Fig. 1. Schema de principiu a fazelor prin care trece o particulă de cărbune introdusă într-un mediu fierbinte.

Încă din timpul începerii încălzirii particulelor apare prima etapă a pirolizei denumită piroliză primară, în urma căreia se separă volatilele și cocsul. Această etapă are o durată foarte mică și se petrece în vecinătatea imediată a arzătorului. Astfel, în focarele industriale unde vitezele de încălzire sînt de ordinul 10^4 K/s (uneori și mai mari), această etapă durează circa 30 — 50 μS, pînă cînd particula atinge temperaturi de circa 300 — 500°C, cînd începe procesul de degajare a volatilelor. Pentru o viteză a particulelor de cărbune expulzate în focar de circa 15 — 20 m/s, zona în care are loc această degajare este mai mică de 1 m lungime, adică volatilele se dagajă în imediata vecinătate a arzătorului.

În timpul pirolizei primare se eliberează și o parte din azotul conținut în cărbune, sub formă de azot gazos, dar cea mai mare parte se constituie sub formă de gudroane cu azot [12]. Experimental s-a dovedit că vitezele de degajare a azotului din cărbune sînt egale cu cele de degajare a gudroanelor. Cu creșterea temperaturii crește și gradul de eliberare a volatilelor. În conformitate cu [13] se apreciază că pentru huilă, peste 1500°C, se eliberează toți compușii azotului în timpul pirolizei. Cărbunii mai reactivi eliberează mai mult azot la temperaturi joase, dar limita desăvîrșirii eliberării azotului se situează la aceeași valoare mare, menționată mai înainte.

Doar în cadrul celei de a doua pirolize, denumită piroliza secundară, din gudroane se vor forma compuși mai ușori ai azotului și anume HCN și NH_3. Aceștia, la rîndul lor, se vor oxida formînd NO dacă există oxigen în exces, sau se vor transforma în continuare în azot molecular, dacă reacția aceasta are loc într-o atmosferă reducătoare.

Cel de al doilea produs al pirolizei primare este cocsul. Acesta mai conține încă puțin azot și anume cu atît mai mult cu cît particula conține un rest de volatile mai mare. În principiu, cu cît temperatura la care are loc piroliza este mai ridicată, durata de piroliză este mai lungă și diametrul particulei este mai mic, cu atît se va reduce cantitatea de azot care va rămîne în cocsul rezidual. Cocsul format va arde apoi în funcție de mărimea particulei, reactivitate, temperatura gazelor și cantitatea de oxigen ce îi stă la dispoziție. Compușii care conțin azot, rămași în particulă, se vor descompune la limita particulei sau în atmosfera gazoasă, formînd NO sau N_2. Stadiul actual al cunoașterii se limitează aici. Este totuși cunoscut că formarea oxidului de azot din azotul rămas în cocs după piroliza primară, este mai redusă în comparație cu cea produsă din materiile volatile, avînd în vedere efectul catalizator al cocsului.

Prin cocsul zburător se realizează apoi o reducere a NO_x-ului format, rezultînd N_2 molecular. Acest proces este foarte complicat. Un rol important îl joacă reducerea directă de NO prin atomii de C legați, formîndu-se N_2, CO și CO_2.

Din cele de mai sus rezultă că procesele de piroliză primară, piroliză secundară, cît și celelalte reacții de transformare se produc în imediata vecinătate a arzătorului și pot fi deci influențate de cîmpurile de curgere din preajma acestuia.

Particulele mari de cocs ard însă la o distanță mai mare de arzător. Procesul de oxidare heterogenă poate fi influențat prin măsuri

legate de proiectarea focarului și instalației de preparare a prafului de cărbune. Dintre principalii factori de influență pe prim plan se menționează coeficientul excesului de aer, temperatura în zona de ardere, timpul de staționare în focar și finețea de măcinare a prafului de cărbune.

2. Măsuri practice pentru minimizarea producerii de NO_x în procesele de ardere

2.1. Recircularea gazelor de ardere este o metodă folosită pînă în prezent pentru reglarea temperaturii de supraîncălzire a aburului. Prin recircularea gazelor de ardere temperatura în focar se micșorează, ceea ce atrage după sine și micșorarea cantității de NO_x produsă prin ardere cu atît mai mult cu cît gradul de recirculare este mai mare (fig. 2). La o recirculare

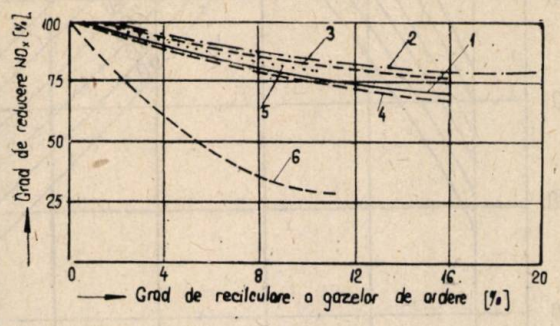


Fig. 2. Reducerea emisiilor de NO_x prin recircularea gazelor de ardere [7]:

1 — focar pentru păcură, debit de abur 1900 t/h, la sarcină 100 %, 2 — idem pentru sarcina de 65 %; 3 — focar pentru păcură, debit de abur 900 t/h, la sarcină 100 %; 4 — focar pentru păcură, debit abur 170 t/h, sarcină totală și recircularea prin arzător; 5 — focar pentru huilă cu evacuarea cenușii în stare lichidă, debit de abur 360 t/h, pentru 85% din sarcină; 6 — focar experimental cu combustibil lichid ușor.

de (15 — 20) % a gazelor de ardere nu se mai observă o reducere sensibilă a NO_x-ului. Pentru același grad de recirculare a gazelor, scăderea sarcinii cazanului duce la creșterea NO_x-ului. Același efect se înregistrează și pentru micșorarea debitului unitar de abur (curbele 1 și 3). Calitatea combustibilului joacă un rol important alături de tipul focarului și modul de formare a amestecului carburant.

2.2. Dimensionarea focarului constituie un mijloc prin care se poate influența asupra temperaturii adiabatice de ardere și asupra timpului de staționare. Așa de exemplu modificarea încărcării termice specifice a secțiunii focarului între 60 % și 140 % conduce la variația emisiei de NO_x între 85 % și 155 % (fig. 3).

2.3. Arderea în trepte constă în dozarea introducerii aerului astfel încît să se realizeze o concentrație scăzută a oxigenului în zona de ardere, concomitent cu scăderea în oarecare măsură și a temperaturii adiabatice de ardere.

Pentru a ilustra această afirmație în figur 4 s-a reprezentat dependența dintre temperatura adiabatică de ardere și coeficientul excesului de aer pentru o huilă cu compoziție elementară cunoscută. Curbele parametrice, pentru diverse temperaturi ale aerului, au fost

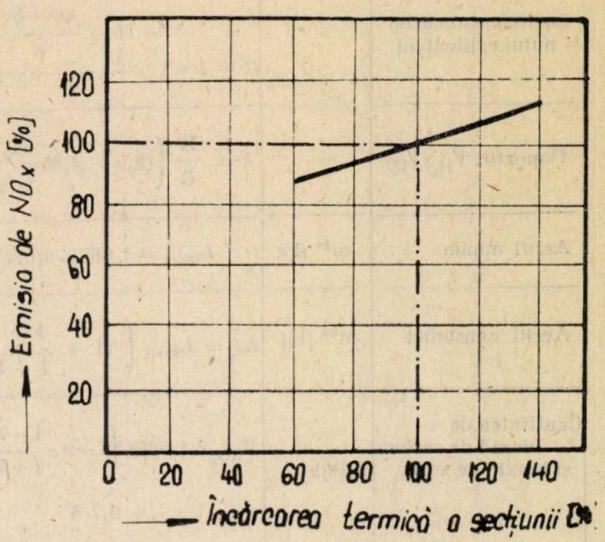


Fig. 3. Influența asupra formării de NO_x a încărcării termice specifice a secțiunii focarelor cu praf de cărbune și evacuarea cenușii în stare solidă [7].

obținute pe baza unui program de calcul în ipoteza că arderea este imperfectă dacă $\lambda < 1$, iar raportul $k = V_{H_2}/V_{CO}$ este o funcție de raportul H/C, conform datelor din lucrarea [14]. În tabelul 1 sînt prezentate relațiile de calcul necesare determinării temperaturii adiabatice a fazelor. Pentru arderea huilei în stare de praf într-un focar ciclon cu $\lambda = 1{,}05$ și $t_a = 673$ K rezultă temperatura teoretică $T_t = 2580$ K, pe cîtă vreme dacă arderea s-ar petrece cu $\lambda = 0{,}8$ se obține $T_t = 2430$ K.

Din figura 5, în care s-a reprezentat variația concentrației de NO funcție de temperatură și coeficientul excesului de aer [1, 2], rezultă că în primul caz concentrația de NO este de circa 10 ori mai mare decît în al doilea caz. În plus, se observă că la o ardere imperfectă a combustibilului ($\lambda < 1$), în gazele de ardere se află anumite cantități de CO și H_2, care, pe traseul de evacuare a acestor gaze, de la temperatura ridicată din focar și pînă la circa 1200 K reacționează cu NO, micșorînd într-o și mai mare măsură concentrația finală a oxizilor de azot [1, 15].

Din punctul de vedere al realizării practice, arderea în trepte prezintă două variante: arderea în trepte individuală pe fiecare arzător în parte și arderea în trepte globală, pe întregul focar.

2.3.1. Arderea în trepte individuală reprezintă un procedeu eficient folosit în străinătate la arzătoarele pentru praf de cărbune [7, 16]. Figura 6 reprezintă schematic un arzător în

Tab elul 1

Relaţii de calcul pentru determinarea temperaturii adiabatice a gazelor de ardere

Denumirea	U.M.	Relaţia de calcul
Coeficientul carbonului echivalent	—	$\sigma = 1+3\,\dfrac{H-\dfrac{O-S}{8}}{C}$
Raportul V_{H_2}/V_{CO}	—	$k = \dfrac{H}{C}\left(3{,}5 - 4{,}65\dfrac{H}{C}\right)$
Aerul minim	m³* /kg	$L_{min} = 1{,}867\,C\,\sigma/0{,}21$
Aerul consumat	m³* /kg	$L_c = L_{min}\left(1 - \dfrac{1-\lambda}{1+k}\right)$
Cantitatea de — bioxid de carbon şi bioxid de sulf	m³*/kg	$V_{RO_2} = 1{,}867C\left(1-2\sigma\dfrac{1-\lambda}{1+k}\right) + 0{,}7\,S$
— oxid de carbon	m³*/kg	$V_{CO} = 1{,}867\,C.2\,\dfrac{1-\lambda}{1+k}\,\sigma$
— hidrogen	m³*/kg	$V_{H_2} = k \cdot V_{CO}$
— azot	m³*/kg	$V_{N_2} = 0{,}8N + 0{,}79\lambda L_{min}$
* vapori de apă	m³*/kg	$V_{H_2O} = 11{,}2H - V_{H_2} + 1{,}245W + \dfrac{0{,}0129\lambda\,L_{min}}{\rho\,H_2O}$
— gaze total	m³*/kg	$V_{gt} = V_{RO_2} + V_{CO} + V_{H_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}$
Puterea calorifică inferioară	kJ/kg	$H_i = 33800\cdot C + 125448\cdot H + 10827(S-O) - 2509\cdot(9H+W)$
Energia termică eliberată la arderea imperfectă	kg/kg	$Q_i = H_i - 16635\,V_{CO} - 10742\,V_{H_2O}$
Entalpia teoretică	kJ/kg	$(I_{V_{gt}})_t = Q_i + L_c(i_a)t_a$
Temperatura adiabatică a gazelor de ardere	°C	$t_t = (I_{V_{gt}})_t / V_{gt}\overline{c_{pg}}$

* m³ în condiţii normale de temperatură şi presiune

trepte Babcock, dezvoltat din arzătorul DUAL — registru folosit în S.U.A. Întîrzierea amestecării şi introducerea în trepte a aerului în arzător au ca efect crearea unui miez de flacără bogat în combustibil şi cu temperatură mai redusă. Astfel, se reduce NO_x de provenienţă organică din cărbune, cît şi NO_x care se formează din radicalii ce conţin azot.

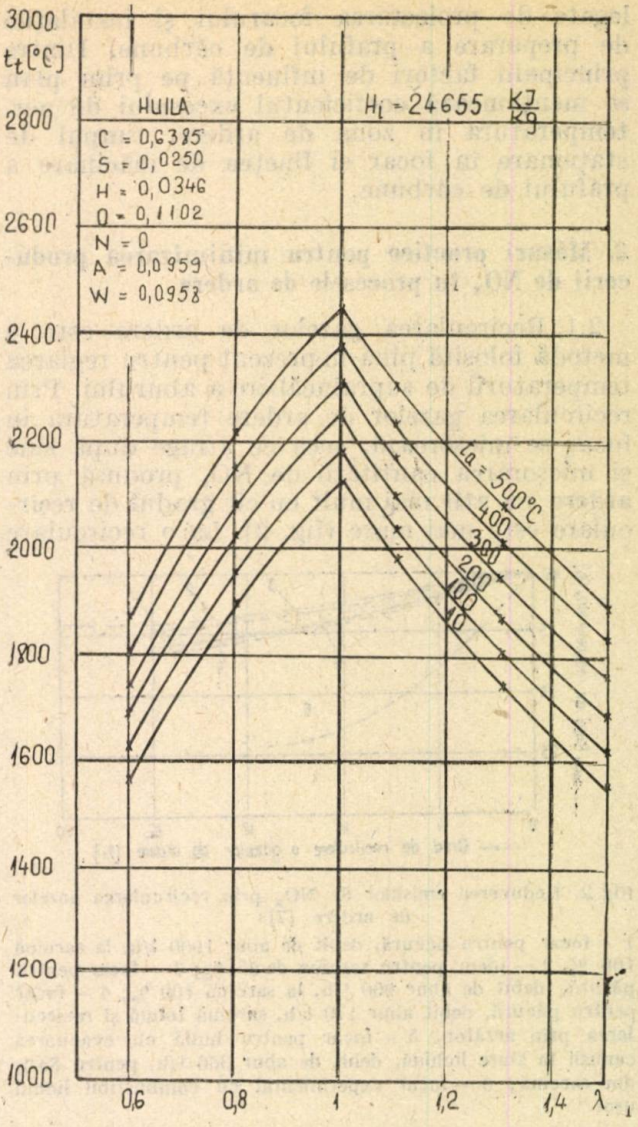


Fig. 4. Dependenţa temperaturii adiabatice a gazelor rezultate din arderea unei huile în funcţie de coeficientul excesului de aer şi temperatura de preîncălzire a aerului.

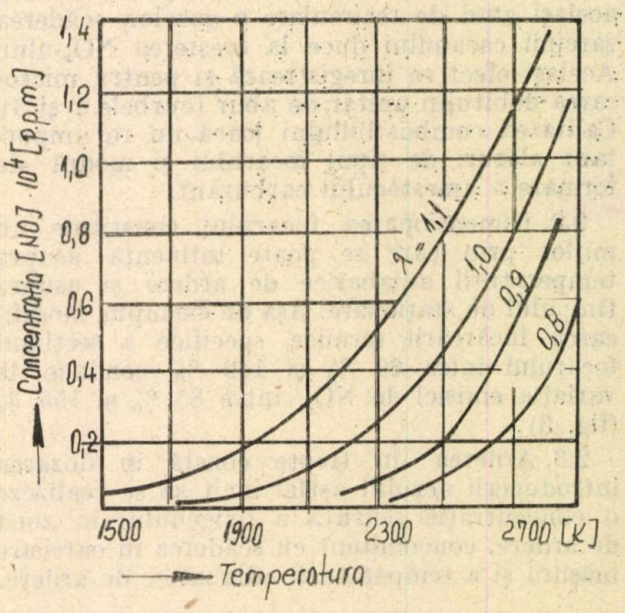


Fig. 5. Variaţia concentraţiei de NO funcţie de temperatură şi coeficientul excesului de aer [1].

2.3.2. Arderea în trepte globală pe întregul focar se caracterizează prin etapizarea introducerii aerului. Prin arzătoare se insuflă o cantitate de aer mai mică decît cea necesară arderii, iar restul de aer se introduce sub formă de „overfire air" deasupra blocului de arzătoare. Metoda utilizată este cunoscută sub numele LNCFS (Low NO_x Concentric Firing System — Sistem de ardere concentric pentru reducerea de NO_x) și se bazează pe o tehnică

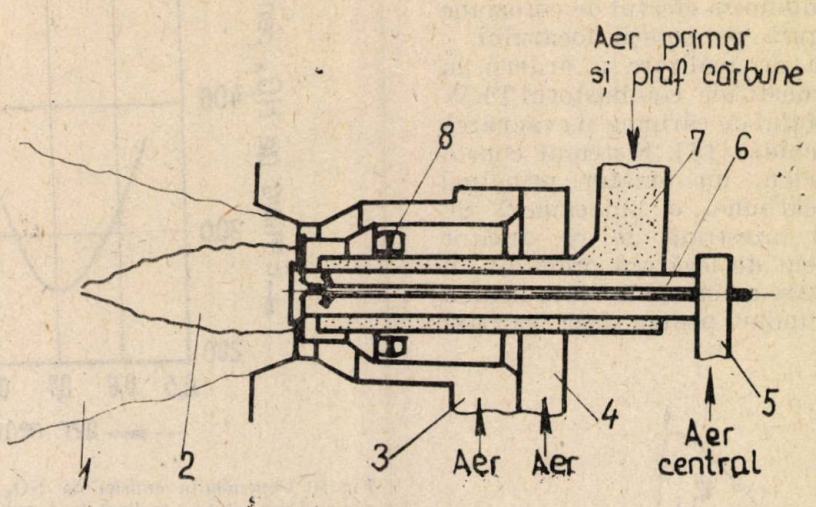


Fig. 6. Arzător pentru praf de cărbune care realizează emisii scăzute de NO_x [7]:
1 — flacără cu exces de aer; 2 — miez de flacără; 3, 4 și 5 — intrarea aerului terțiar, secundar și central; 6 — injector păcură; 7 — intrarea aerului primar și prafului de cărbune; 8 — palete de turbinare.

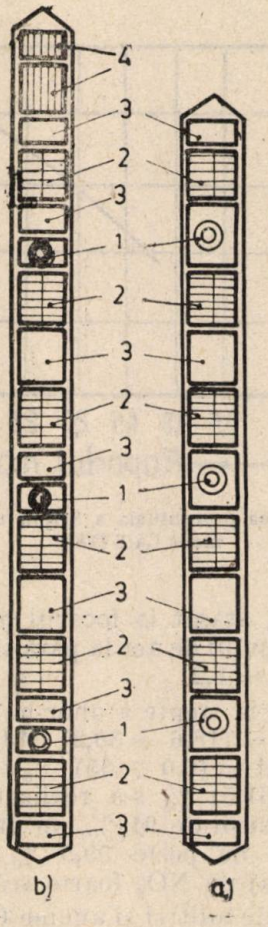


Fig. 7. Aranjarea coloanelor de arzătoare înainte și după modificare [17]: 1 — injector de păcură; 2 — praf de cărbune; 3 — aer secundar; 4 — aer superior; *a* — aranjament tradițional; *b* — aranjament LNCFS.

dezvoltată în S.U.A. de Combustion Engineering. În Anglia metoda a fost aplicată pentru prima dată la un cazan cu funcționare pe cărbune din centrala electrică de la Fiddlers Ferry [17].

În figura 7 se prezintă aranjarea coloanelor de arzătoare în situația veche (fig. 7*a*) și nouă (fig. 7*b*), iar în figura 8 — direcția jeturilor de combustibil și aer într-un caz și în celălalt.

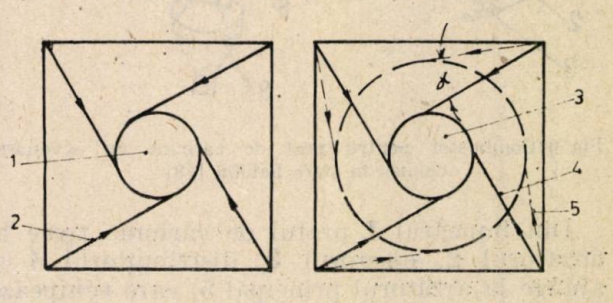


Fig. 8. Dirijarea jeturilor înainte și după modificare [17]:
1 — turbion de foc central; 2 — jet de combustibil și aer; 3 — zona bogată în combustibil; 4 — jet de combustibil; 5 — jet de aer.
a) aranjament tradițional; b) aranjament LNCFS.

Frinarea formării de NO_x se obține prin realizarea în zona de ardere a unui amestec carburant bogat, folosind următoarele căi:

— introducerea în zona arzătoarelor numai a 80 % din cantitatea totală de aer, restul fiind insuflat deasupra zonei arzătoarelor, astfel încît la părăsirea focarului $\lambda \geqslant 1{,}05$;

— blocarea unor guri de aer secundar, situate imediat deasupra și dedesubtul gurilor de insuflare a amestecului cu aer primar și

praf de cărbune, ceea ce are ca efect întîrzierea formării amestecului carburant;

— dirijarea jetului de aer secundar în afara cercului sferei de foc (fig. 8*b*), unghiul γ dintre direcţiile celor două jeturi fiind în jur de (17 $\pm$ $\pm$ 7,5)°, pentru a minimiza efectul de coroziune şi depunere de zgură pe pereţii focarului.

Un alt exemplu de realizare a arderii în trepte globală îl constituie combustorul TRW pentru arderea prafului de cărbune şi evacuarea cenuşii în stare lichidă [18]. Sistemul constă dintr-un focar ciclon, un arzător principal pentru praf de cărbune, o antecameră de ardere a prafului înzestrată cu un arzător secundar, un element de legătură prevăzut cu un sistem de evacuare a cenuşii în stare lichidă şi un arzător secundar pentru faza gazoasă (fig. 9).

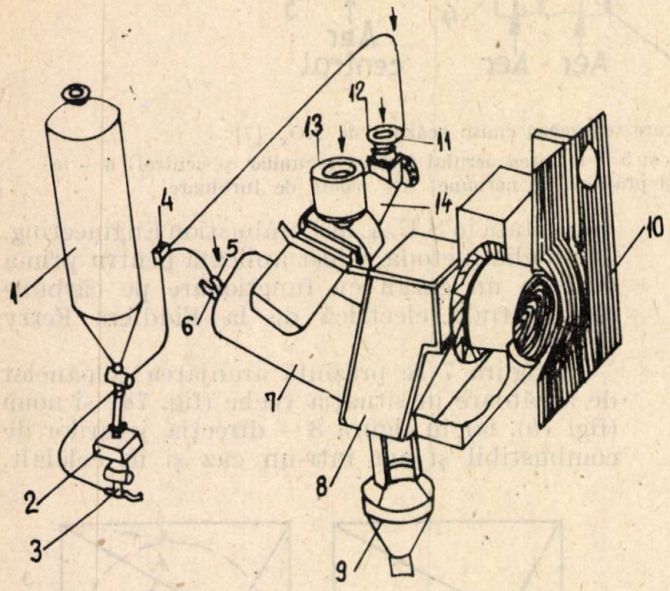


Fig. 9. Combustor pentru praf de cărbune cu evacuarea cenuşii în stare lichidă [18].

Din buncărul **1** praful de cărbune trece la dozatorul **2**, ejectorul **3**, distribuitorul **4** şi ajunge la arzătorul principal **5**, care echipează focarul ciclon **7**, respectiv la arzătorul secundar **11** al camerei de precombustie **14**. Atît focarul ciclon, cît şi camera de precombustie, sînt dotate cu cîte un arzător pe hidrocarburi în vederea pornirii. Camera de precombustie **14**, alimentată cu aer prin conductele **12** şi **13**, are rolul de a regla temperatura aerului insuflat tangenţial în focarul ciclon, debitul acestuia reprezentînd 70 — 90 % din cel minim necesar arderii perfecte. Ca urmare, gazele de ardere care părăsesc focarul ciclon vor conţine o cantitate importantă de substanţe combustibile sub formă gazoasă (CO, H_2), definitivarea arderii acestora făcîndu-se în treapta a doua realizată sub forma unui arzător secundar pentru

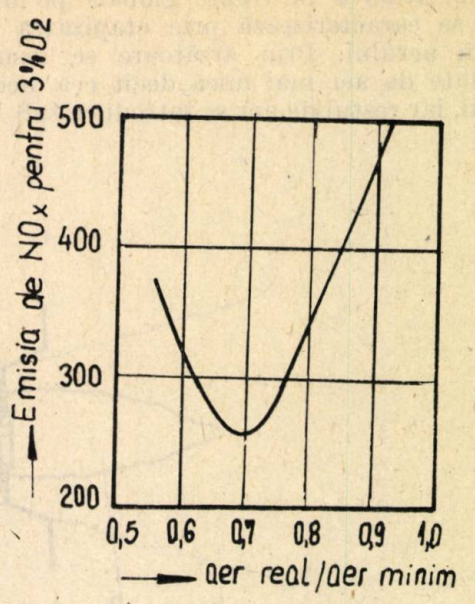


Fig. 10. Dependenţa emisiei de NO_x în funcţie de raportul aer real/aer minim, realizat în focarul ciclon al combustorului [18].

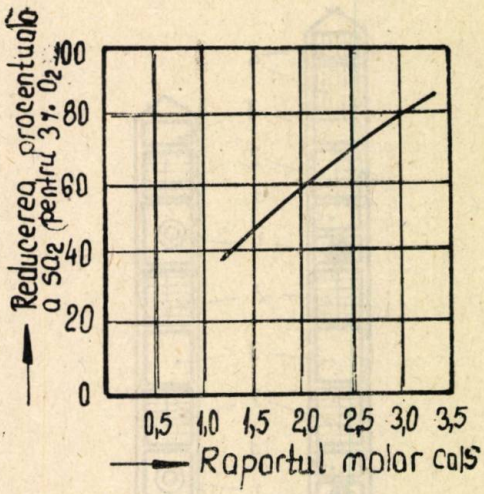


Fig. 11 Reducerea procentuală a SO_2 în funcţie de raportul molar Ca/S [18].

fază gazoasă, ataşat la focarul principal. Coeficientul excesului de aer la părăsirea combustorului este $\lambda = 1{,}2$.

La arderea în trepte a unor huile cu puterea calorifică $H = (18{,}6 \div 30{,}2)$ MJ/kg, conţinut de cenuşă $A = (6{,}0 \div 35)$ % şi umiditate $W = (2{,}0 \div 31{,}5)$ % s-a realizat un grad de reţinere a cenuşii de 94 %, un grad de ardere a carbonului de peste 99,5 % în condiţiile unei procentaj de NO_x foarte scăzut (fig. 10). Prin folosire de aditivi şi anume Ca/S în raport 3/1 pentru cărbunii cu conţinut de sulf S = = (0,6 — 2,1)%, s-a reuşit reducerea procentului de SO_2 cu 50 % pînă la 90 % (fig. 11).

Concluzii

În lucrare se încearcă o prezentare a mecanismului formării de NO_x și o trecere în revistă a măsurilor practice pentru minimizarea producerii acestora în procesele de ardere.

Rezumînd, principalele condiții necesare a fi îndeplinite pentru minimizarea producerii de NO_x sînt următoarele :

a) Temperatura în zona producerii pirolizei primare trebuie să fie ridicată, dar simultan să se resimtă o lipsă de oxigen, pentru a crea condiții cît mai bune pentru degajarea azotului. Oxigenul trebuie să fie în cantitate corespunzătoare unei arderi substoichiometrice a volatilelor. Alegerea cantității de aer introdus în trepte trebuie adaptată în funcție de cantitatea de volatile din cărbune.

b) Mărimea zonei în care are loc piroliza primară depinde de timpul de rezidență al particulei, timp specific fiecărei calități de cărbune, astfel încît să se producă atît eliberarea completă a materiilor volatile, cît și reacționarea lor în condiții reducătoare ;

c) Cărbunii al căror conținut de volatile se degajă la temperaturi joase, trebuie să fie măcinați mai fin pentru a se putea încălzi rapid și pentru a se elibera pe cît posibil întreaga cantitate de volatile conținută ;

d) Aerul necesar definitivării procesului de ardere trebuie să fie introdus imediat după zona unde se produce reducerea și se impune să se amestece rapid cu gazele care conțin componenți ai arderii imperfecte și incomplete. Conținutul de nearse în cenușa zburătoare nu trebuie să depășească 5 %.

Bibliografie

[1] Medeleanu, V. *Contribuții privind depoluarea atmosferei de oxizi de azot reziduali.* Teză de doctorat, IPTVT, Timișoara, 1983, p. 5—9, 20—30.

[2] Maslennicov, V. M., Gordin, K. A. *Aspecte ecologice ale utilizării instalațiilor M.H.D.* Din : Materialele consfătuirii tehnico-științifice a specialiștilor țărilor membre CAER, 30 octombrie — 3 noiembrie 1978, p. 25 — 37.

[3] * * * *Legea nr. 9/1973 privind protecția mediului înconjurător și Ordinul 623 al M.S.* În : Buletinul Oficial nr. 212/1973.

[4] Oknotin, V. ș.a. *Fundamentals of Heat Engineering.* Mir publishers, Moscow, 1987, p. 174.

[5] Becker, J. *West Germanys initial SCR experience.* În : Modern Power Systems, iunie 1987, p. 19—26.

[6] Antonescu, N. ș.a. *Valorificarea energetică a deșeurilor.* Ed. Tehnică, București, 1988, p. 145.

[7] Braun, B. *Massnahmen und Möglichkeiten zur Emissionsminderung von Feststoffen und Schadgasen bei der Auslegung und Konstruktion der verschidenen Feuerungsanlangen und Dampferzeuger.* I Symposium Rauchgasreiningung, 24 April 1980, p. 31—58.

[8] Hartmann, D. *Stand und Tendenzen der Techniken zur Staub-und Schadgasbegrenzung bei Dampferzeugern und Verbrennungsanlangen unter Berücksichtigung der derzeitigen und zu erwartenden gesetzlichen Vorschriften.* I Symposium Rauchgasreinigung, 24 April, 1980, p. 11—30.

[9] Warnatz, I. *Elementarreaktionen in Verbrennungs prozessen.* In : BWK, 1985, nr. 1—2, p. 11—19.

[10] Moțoiu, C. *Centrala termoelectrică și mediul ambiant. Posibilități actuale de reducere a influențelor poluante.* In : ENERG, nr. 1, Ed. Tehnică, București, 1986, p. 127—157.

[11] Thielen, W. *Einfluss der Brennerkonstruktion auf das brennernabe Strömungsfeld in gestuften Kohlenstaubfeuerungen.* In : BWK, Bd. 40/1988, nr. 5, p. 186—192.

[12] Freihaund, I. D. ș.a. *Nineteenth Symposium (international) on Combustion,* p. 1159—1167. The Combustion Institut PA, 1983.

[13] Weud, J. O. L. *Fundamental coal combustion mechanisms and polluant formation in furnances.* In : Progress in Energy and Combustion Seeratt, 6(1980) nr. 2 p. 201—222.

[14] * * * * *Manualul inginerului termotehnician,* vol. II. Ed. Tehnică, București, 1986, p. 162.

[15] Gordin, K. A., Maslennicov, V. M. *Cinetica formării oxizilor de azot pe traiectul instalației M.H.D* Din : Materialele consfătuirii tehnico-științifice a specialiștilor țărilor membre CAER, 30 oct. — 3 nov. 1978, p. 177—186.

[16] La Rue, A. D., Cioffi, P. L. *Tow NO_x burner development in the U.S.A.* In : Modern Power Systems, ianuarie 1988, p. 41—47.

[17] Allen, W. J. *Reducing NO_x levels in coalfired boilers.* In : Modern Power Systems Supliment, iunie 1987, p. 26—29.

[18] Viani, E. R. *Endurance tests to prove slagging combustor.* In : Modern Power Systems, august 1986, p. 35—41.

(Primit la 3 aprilie 1989, acceptat la 27 iunie 1990)

Optimizarea termică și dimensională a receptorului de radiație solară tip cavitate cilindrică, ținînd cont de randamentul de intercepție și de diferența finită de temperatură între receptor și fluidul de lucru

Prof. dr. ing. STOIAN PETRESCU, s.l. ing. ROXANA IORDACHE *

Descriptori: receptoare solare, optimizări

În lucrare se dezvoltă o metodologie de optimizare a receptorului de radiație solară concentrată tip cavitate cilindrică, luînd în considerare influența randamentului de intercepție a radiației solare în secțiunea de intrare a receptorului, precum și diferența finită de temperatură între receptor și fluidul de lucru al motorului solar.

În acest mod, spre deosebire de lucrarea anterioară [1], se obține optimizarea nu numai termică, ci și dimensională a receptorului de radiație solară concentrată.

The paper relates on an optimization method of the cavity concentrated solar radiation receiver, taking into account the influence of solar radiation interception efficiency within the receiver admission section as well as the finite temperature difference between the receiver and the working fluid of the solar engine.

By this, unlike the previous work (1), the result leads not only to thermal but also to seize optimization of the groove concentrated solar radiation receiver.

Într-o lucrare anterioară [1] s-a elaborat o schemă de calcul pentru optimizarea receptorului solar tip cavitate cilindrică, din punctul de vedere al temperaturii agentului de lucru care preia căldura în receptor. În acea fază s-a admis ipoteza unei distribuții uniforme a densității fluxului radiației solare în pata focală a oglinzii parabolice. Calculele de optimizare efectivă au fost făcute pentru o oglindă parabolică cu diametrul de 6,5 m construită de ICEMENERG [2, 3]. Au rezultat temperaturi optime de lucru ale fluidului motor (pentru motorul solar cuplat cu receptorul de radiație termică) în domeniul 573—973 K, cu paliere de circa 200 grade pentru randamentul ansamblului receptor-motor solar, depinzînd de poziția maximului de randament, funcție de diametrul petei focale.

În prezenta lucrare ne-am propus dezvoltarea acestei metodologii de optimizare a receptorului de radiație concentrată tip cavitate cilindrică, luînd în considerare influența randamentului de intercepție a radiației solare în secțiunea de intrare a receptorului, precum și diferența de temperatură finită între receptor și fluidul de lucru al motorului solar.

În cazul real, distribuția densității fluxului de radiație solară în pata focală a oglinzii parabolice nu mai este uniformă, așa cum s-a considerat teoretic în lucrare [1] (fig. 1 și 2). În acest caz, în afară de optimizarea temperaturii' pentru o distribuție dată (experimental sau presupusă ca ipoteză de lucru) se realizează și optimizarea diametrului în secțiunea de intrare a receptorului de radiație concentrată.

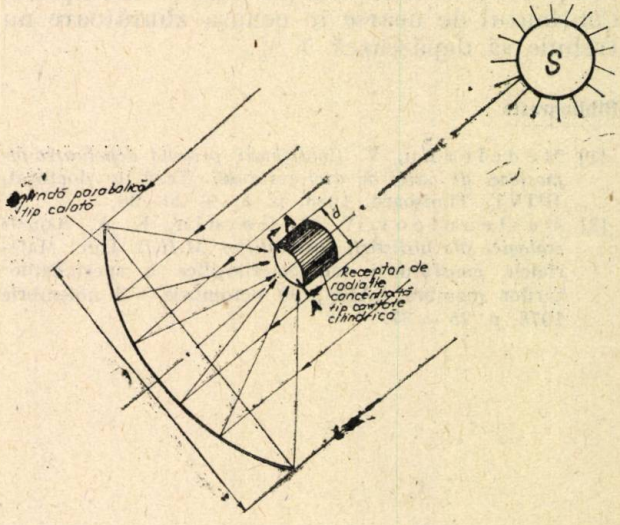


Fig. 1. Schema ansamblului oglindă parabolică-receptor acumulator termic.

Metodologia de calcul pentru optimizarea diametrului constă în două etape :

1 — se calculează randamentul de intercepție pentru o anumită distribuție a densității fluxului de energie solară în pata focală a oglinzii parabolice funcție de diametrul secțiunii de intrare a receptorului [4];

* Prof. dr. ing. Stoian Petrescu, s.l. ing. Roxana Iordache — Facultatea de Mecanică, Institutul Politehnic, București.

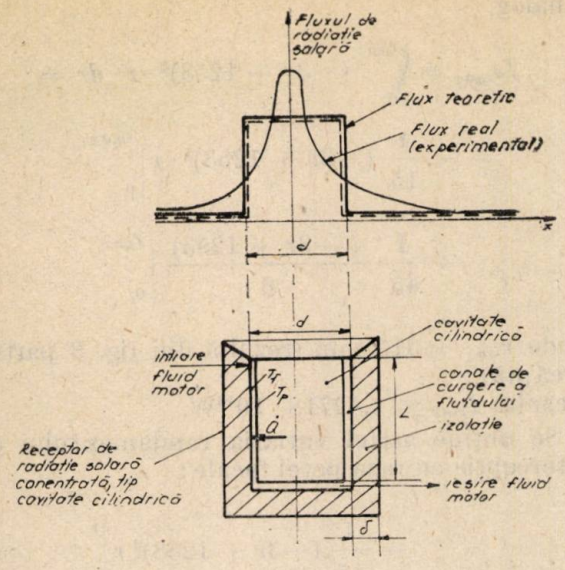


Fig. 2. Distribuția teoretică și reală a fluxului de radiație solară concentrată în pata focală a oglinzii parabolice.

2 — se corelează acest randament de intercepție cu randamentul receptorului și al motorului solar folosit, obținîndu-se curbe de maxim pentru randamentul global. În poziția de maxim a randamentului global rezultă diametrul optim și temperatura optimă de lucru a agentului termic în receptorul cuplat cu motorul solar. Calculele s-au făcut pentru distribuția densității fluxului de radiație solară oferite de ICEMENERG referitoare la oglinzile de 6,5 m diametru [2, 3], mai întîi în ipoteza egalizării temperaturii medii a receptorului cu temperatura de lucru a fluidului motor.

În finalul lucrării se prezintă o metodologie de optimizare a temperaturii receptorului și a fluidului de lucru, admițînd necesitatea existenței unei diferențe finite între acestea,pentru a asigura fluxul optim de căldură de la sursa caldă a motorului solar.

În figura 1 se prezintă schema ansamblului oglindă parabolică receptor-acumulator termic. Pentru oglinda ICEMENERG cu diametrul de 6,5 m s-a obținut experimental, conform cu datele din lucrările [2, 3], o distribuție a temperaturii de echilibru în pata focală (fig. 3). Se constată că această distribuție este cvasiliniară, funcție de raza măsurată în raport cu axul oglinzii. S-au determinat ecuațiile acestei drepte [4]:

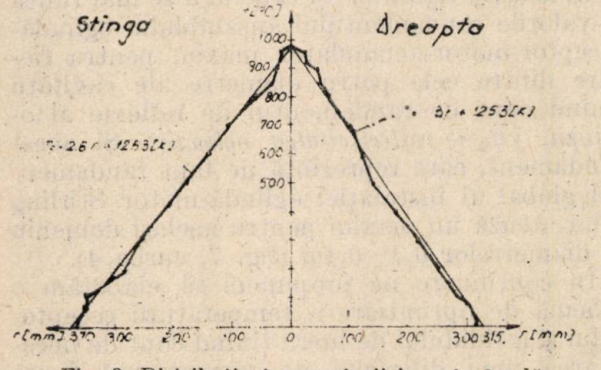


Fig. 3. Distribuția temperaturii în pata focală

$$T = -2{,}6r + 1253 \text{ K stînga}, \quad (1)$$

$$T = -3r + 1253 \text{ K dreapta}. \quad (2)$$

Pe baza acestei distribuții de temperaturi s-a calculat distribuția fluxului de energie radiantă solară care cade pe pata focală, prezentată în figura 4.

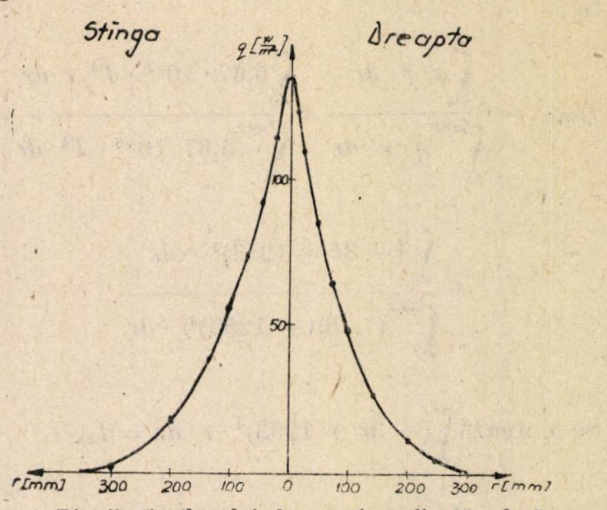


Fig. 4. Distribuția fluxului de energie radiantă solară care cade pe pata focală.

S-a calculat randamentul de intercepție funcție de diametrul receptorului, dependență prezentată în figura 5 [4, 5]:

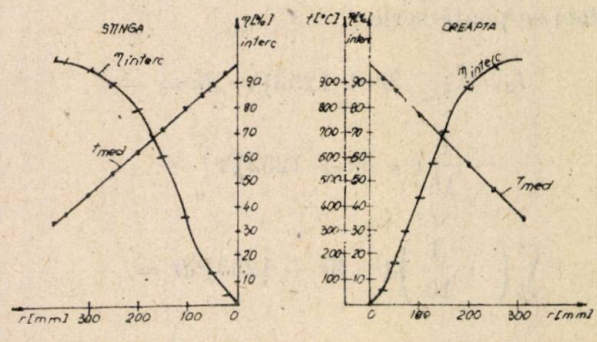


Fig. 5. Randamentul de intercepție funcție de diametrul receptorului.

$$\eta_{interc} = \frac{E_{inc}}{E_{rad}} = \frac{\int_{(S)} q \cdot dS}{\int_{S(max)} q \cdot dS} =$$

$$= \frac{\int_0^{r_0} q \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr}{\int_0^{r_{max}} q \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr} = \frac{\int_0^{r_0} q \cdot r \cdot dr}{\int_0^{r_{max}} q \cdot r \cdot dr},$$

în care :

r_{max} este valoarea razei petei focale la care temperatura receptorului devine egală cu cea a mediului ambiant.

$$q = f(T) = \sigma\left(\frac{T}{100}\right) = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \mathrm{W/m^2 \cdot K^4}$$

constanta Stefan-Boltzmann.

Calculul randamentului de intercepție-dreapta :

$$\eta_{interc} = \frac{\int_0^r q \cdot r \cdot dr}{\int_0^{r_{max}} q \cdot r \cdot dr} = \frac{\int_0^r 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 \cdot r \cdot dr}{\int_0^{r_{max}} 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 \cdot dr} =$$

$$= \frac{\int_0^r (-3r + 1253)^4 \cdot r \cdot dr}{\int_0^{r_{max}} (-3r + 1253)^4 r \cdot dr}.$$

Se notează $\int_0^r (-3r + 1253)^4 \cdot r \cdot dr = I_{dr}$

$$\begin{cases} u = r, & du = dr \\ (-3r + 1253)^4 dr = dv; \end{cases}$$

$$v = \frac{1}{-5 \cdot 3}(-3r + 1253)^5$$

și deci se poate scrie :

$$I_{dr} = (-3r + 1253)^4 r \cdot dr = -$$

$$-\frac{1}{15}(-3r + 1253)^5 r \Big|_0^r -$$

$$-\int_0^r \left(-\frac{1}{15}\right)(-3r + 1253)^5 dr = -$$

$$-\frac{1}{15}(-3r + 1253)^5 r \Big|_0^r +$$

$$+\frac{1}{15}\int_0^r (-3r + 1253)^5 \cdot d(-3r + 1253) \times$$

$$\times\left(-\frac{1}{-3}\right) = -\frac{1}{15}(-3r + 1253)^5 r \Big|_0^r -$$

$$-\frac{1}{45}\frac{(-3r + 1253)^6}{6}\Big|_0^r$$

Analog

$$I_{dr_{max}} = \int_0^{r_{max}} (-3r + 1253)^4 \cdot r \cdot dr =$$

$$= -\frac{1}{15}(-3r + 1253)^5 \cdot r \Big|_0^{r_{max}} -$$

$$-\frac{1}{45}\frac{(-3r + 1253)}{6}\Big|_0^{r_{max}}$$

unde $r_{max} = 315$ mm (rezultă din fig. 3 partea dreaptă).

Rezultă $I_{max} = 1{,}42718 \cdot 10^{16}$W.

Se obține astfel variația randamentului de intercepție cu raza petei focale :

$$\eta_{interc} = \frac{-\frac{1}{15}(-3r + 1253)^4 r \Big|_0^r}{1{,}42718 \cdot 10^{16}} -$$

$$-\frac{\frac{1}{45}\frac{(-3r + 1253)^6}{6}\Big|_0^r}{1{,}42718 \cdot 10^{16}} = f(r),$$

variație exprimată în tabelul 1.

S-a procedat în mod analog pentru calculul randamentului de intercepție pentru ramura stîngă. Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabelul 2.

Ținînd cont de randamentul de intercepție prezentat în figura 5 în funcție de raza cavității receptorului și respectiv de valorile acestuia pentru diametrele cavității de 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5m sintetizate în tabelul 3 împreună cu randamentul $\eta_{R,M,B,max}$ (randamentul ansamblului receptor-acumulator-motor Stirling în schema Beans [5] la valoarea maximă corespunzătoare domeniului de temperatură ridicat în același tabel), prezentate în lucrarea [1] rezultă valoarea randamentului ansamblului receptor-motor maxim corespunzătoare fiecărui diametru al cavității receptorului $\eta_{R,M,max}$ (fig. 7, curba 5).

Se constată că acesta acuză un maxim pentru o valoare a diametrului cavității cuprinsă între 0,3 și 0,4 m.

În aceeași figură (7) și tabelul 3 se mai ridică și valorile randamentului ansamblului oglindă-receptor-motor-acumulator maxim pentru fiecare dintre cele patru diametre ale cavității ținînd cont de randamentul de reflexie al oglinzii. (R_0 — *reflectivitatea oglinzii*). Și acest randament, care reprezintă de fapt randamentul global al instalației oglindă-motor Stirling solar, acuză un maxim pentru același domeniu al diametrelor 0,3—0,4m (fig. 7, curba 4).

În continuare ne propunem să elaborăm o schemă de optimizare a temperaturii receptorului și a fluidului de lucru ținînd cont de necesitatea unei diferențe de temperatură finită

Tabelul 1

r [mm]	25	50	100	150	200	250	300	315
I_{dr} [W]	$6,55365.10^{14}$	$2,22177.10^{15}$	$6,31812.10^{15}$	$1,00015.10^{15}$	$1,24629.10^{16}$	$1,37365.10^{16}$	$1,42163.10^{16}$	$1,42718.10^{16}$
η_{interc} [%]	4,59	15,56	44,27	70,07	87,32	96,25	99,61	1

Tabelul 2

r [mm]	25	50	100	150	200	250	300	350	370
I_{stg} [W]	$6,6978.10^{14}$	$2,3228.10^{15}$	$6,92836.10^{15}$	$1,15222.10^{16}$	$1,50624.10^{16}$	$1,73124.10^{16}$	$1,8481.10^{16}$	$1,8946.10^{16}$	$1,9021.10^{16}$
η_{interc} [%]	3,52	12,21	36,42	60,58	79,19	91,02	97,16	99,61	1

Tabelul 3

d [m]	t_{opt} [°C]	$\eta_{R.MB.max}$ [%]	$\eta_{interceptie}$ [%]	$\eta_{R.M,max} - \eta_{R.MB.max.} \cdot \eta_{interc}$ [%]	$\eta_{ORM.max} - R_O \cdot \eta_{R.M.max}$ [%]	$P = \eta'_{R,M,max} \cdot Q_i$ [kW]
0,2	600—700	18,4	44	8,09	5,6	1,36
0,3	500—600	16	70	11,2	7,84	1,89
0,4	350—450	13,5	87	11,7	8,2	1,97
0,5	250—350	12	96	11,6	8,12	1,96

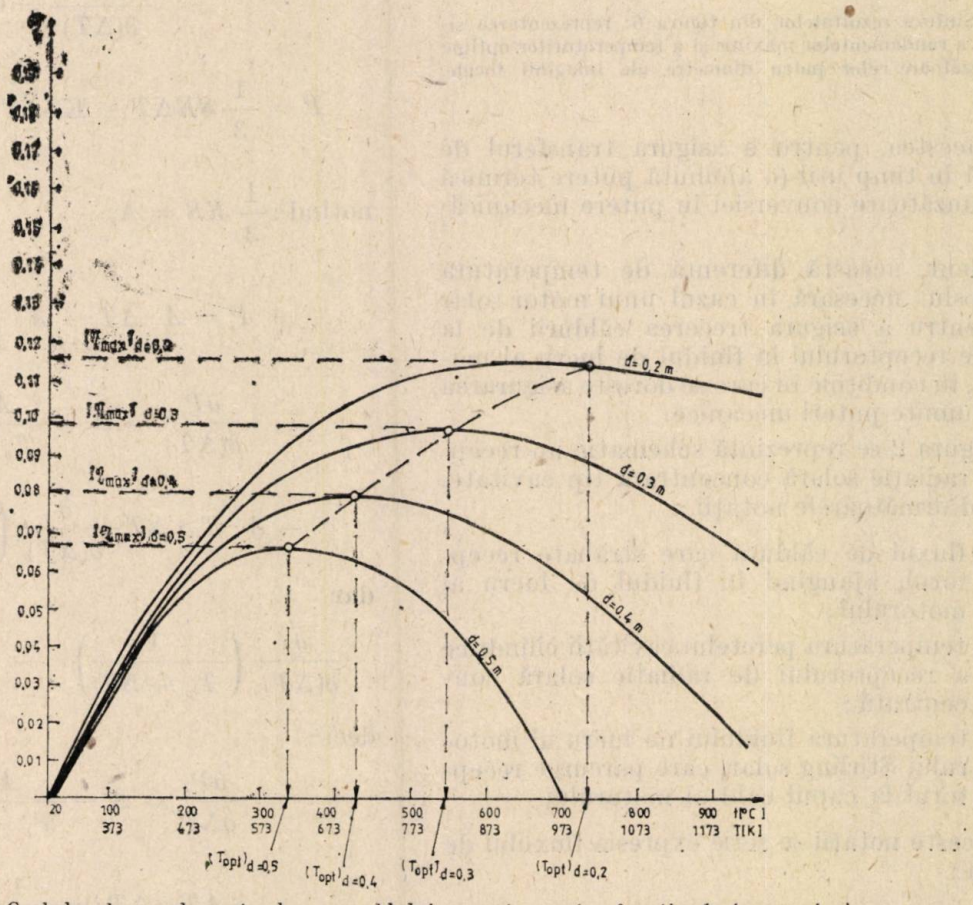


Fig. 6. Curbele de randament ale ansamblului receptor motor funcție de temperaturi.

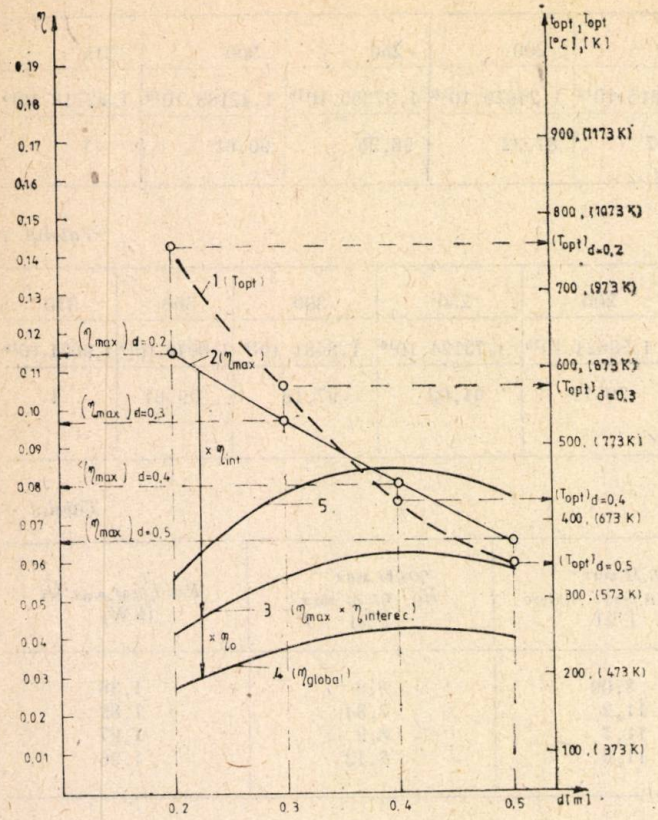


Fig. 7. Sinteza rezultatelor din figura 6: reprezentarea simultană a randamentelor maxime şi a temperaturilor optime corespunzătoare celor patru diametre ale imaginii focale.

între acestea, pentru a asigura transferul de căldură în timp util (o anumită putere termică corespunzătoare conversiei în putere mecanică) [6].

Evident, această diferenţă de temperatură este abslut necesară în cazul unui motor solar real pentru a asigura trecerea căldurii de la peretele receptorului la fluidul de lucru al motorului, în condiţiile în care se doreşte asigurarea unei anumite puteri mecanice.

În figura 2 se reprezintă schematic un receptor de radiaţie solară concentrată tip cavitate, folosind următoarele notaţii :

$\dot{Q}$ — fluxul de căldură care străbate receptorul, ajungînd în fluidul de lucru al motorului ;

T_p — temperatura peretelui cavităţii cilindrice a receptorului de radiaţie solară concentrată ;

T_f — temperatura fluidului de lucru al motorului Stirling solar, care parcurge receptorul la capul cald al motorului.

Cu aceste notaţii se scrie expresia fluxului de căldură :

$$\dot{Q} = K \cdot S \cdot \Delta T,$$

unde

$$\Delta T = T_p - T_f.$$

Puterea motorului Stirling solar este :

$$P = \eta_{MS} \cdot \dot{Q}.$$

Admitem în continuare că randamentul motorului Stirling real, conform schemei de calcul Beans :

$$\eta_{MS} = \frac{1}{3}\left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right),$$

în care T_0 este temperatura mediului ambiant.

Cu acestea, puterea motorului solar devine :

$$P = \cdot \dot{Q} \cdot \frac{1}{3}\left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right) = \dot{Q} \cdot \frac{1}{3}\left(1 - \frac{T_0}{T_p - \Delta T}\right),$$

$$P = \frac{1}{3} \cdot K \cdot S \cdot \Delta T\left(1 - \frac{T_0}{T_p - \Delta T}\right).$$

Se optimizează puterea, căutînd un ΔT_{optim} :

$$\frac{\partial P}{\partial(\Delta T)} = 0,$$

$$P = \frac{1}{3} SK\Delta T - KS\Delta T \frac{T_0}{3(T_p - \Delta T)},$$

notînd : $\frac{1}{3} KS = A,$

$$P = A \cdot \Delta T - A \cdot \frac{T_0 \cdot \Delta T}{T_p - \Delta T},$$

$$\frac{\partial P}{\partial(\Delta T)} = A - \frac{A \cdot T_0}{T_p - \Delta T} -$$

$$- A \cdot T_0 \cdot \Delta T \frac{\partial}{\partial(\Delta T)}\left(\frac{1}{T_p - \Delta T}\right),$$

dar

$$\frac{\partial}{\partial(\Delta T)}\left(\frac{1}{T_p - \Delta T}\right) = - \frac{1}{(T_p - \Delta T)^2}(-1),$$

deci :

$$\frac{\partial P}{\partial \Delta T} = A - \frac{AT_0}{T_p - \Delta T} -$$

$$- AT_0 \cdot \Delta T \cdot \frac{1}{(T_p - \Delta T)^2} = 0.$$

Se rezolvă această ecuație în raport cu ΔT ca necunoscută :

$$(T_p - \Delta T)^2 - T_0(T_p - \Delta T) - T_0\Delta T = 0,$$

$$(T_p - \Delta T)^2 - T_0 \cdot T_p = 0,$$

$$(T_p - \Delta T) = \sqrt{T_0 \cdot T_p}$$

Rezultă deci valoarea lui ΔT_{optim} :

$$\Delta T_{opt} = T_p - \sqrt{T_0 \cdot T_v}$$

și ținînd cont de expresia lui ΔT:

$$\Delta T_{opt} = T_p - T_f$$

rezultă și soluția optimă a temperaturii fluidului de lucru

$$T_f = \sqrt{T_0 \cdot T_f}.$$

Înlocuind T_f în formula randamentului se obține :

$$\eta_M = \frac{1}{3}\left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_p}}\right).$$

Cu această expresie s-au recalculat curbele de randament ale ansamblului receptor-motor funcție de temperaturi (fig. 6) pentru a se obține temperaturile optime de lucru.

Pentru aceasta se folosește expresia randamentului receptorului cavitate cilindrică [1]:

$$\eta_{Rec,\ cav} = A_{cav}\left[1 - \frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4}{A_{cav} \cdot \eta_{conc} \cdot E \cdot C} - \right.$$

$$\left. - \frac{S_{ext} \cdot \alpha_z\ (T_{ext} - T_{aer}) + S_{int} \cdot \alpha_1 (T - T_{aer})}{A_{cav} \cdot \eta_{conc} \cdot E \cdot C \cdot S_{cav}}\right],$$

unde :

$E = 750\ W/m^2$ — densitatea de putere radiantă ce cade pe oglindă, apreciată ca o valoare medie anuală ;

$\alpha_1 = 7\ W/m^2 \cdot K$ — coeficientul de transfer de căldură prin convecție pe suprafața interioară a receptorului cavitate (considerat la T) ;

$\alpha_2 = 6\ W/m^2 \cdot K$ — coeficientul de transfer de căldură prin convecție pe suprafața exterioară izolată a receptorului cavitate (considerat la T_{ext}) ;

$T_{aer} = 20°C$ — temperatura ambiantă ;

$A = \varepsilon = 0{,}8$ — (corp cenușiu) factorul energetic de absorbție (respectiv emisie) al materialului din care este confecționată cavitatea receptorului ;

$A_{cav} = 0{,}94$ — factorul energetic de absorbție al cavității receptorului ;

T — temperatura la care se află cavitatea receptorului de radiație solară concentrată ;

$$T_{ext} = \frac{\frac{\lambda}{\delta} S_{med} \cdot T + S_{ext} \cdot \alpha_2 \cdot T_{aer}}{S_{ext} \cdot \alpha_2 + \frac{\lambda}{\delta} S_{med}} ;$$

λ — coeficientul de conductivitate termică al materialului izolației receptorului.

$$S_{med} = \frac{S_{int} + S_{ext}}{2}$$

$C = \frac{D^2}{d^2}$ — factor geometric de concentrare a radiației solare ;

$\eta_{conc} = 0{,}6804$ randamentul concentratorului parabolic.

În figura 6 se prezintă variația randamentului global motor Stirling solar-receptor de radiație concentrată, funcție de temperatura din receptor.

Familia de curbe pune totodată în evidență și influența diametrului imaginii focale.

În figura 7 se sintetizează rezultatele din figura 6 prin reprezentarea simultană a *randamentelor maxime* și a *temperaturilor optime* corespunzătoare, pentru cele patru diametre ale imaginii focale. În plus, s-a ținut cont de randamentul de intercepție (fig. 5) și s-au obținut astfel curbele *randamentului motor-receptor* și apoi curbele *randamentului motor-receptor-oglindă.*

De asemenea, s-a trasat și curba *randamentului motor-receptor -oglindă* (5) în varianta calculată într-o lucrare anterioară [1], în care nu s-a ținut cont de optimizarea din punctul de vedere al pierderilor prin ireversibilitatea externă, datorate lui ΔT_{finit} necesar în receptor, pentru a asigura transferul de căldură către fluidul de lucru al motorului.

Semnificația curbelor din figura 7 este următoarea :

(1) — temperaturile optime corespunzătoare randamentelor maxime de la curba 1 (citire pe axa din dreapta) ;

(2) — randamentul receptor-motor maxim (citire pe axa din stînga) ;

(3) — curba (2) × $\eta_{intercepție}$, adică : $\eta_{max} \times$ × $\eta_{intercepție}$;
(4) — curba (3) × $\eta_{oglindă}$, adică : $\eta_{global} = \eta_{max} \times$ × $\eta_{intercepție} \times \eta_{oglindă}$
(5) — randamentul global receptor-motor-oglindă, fără optimizarea lui ΔT (adică în ipoteza reversibilității externe : $\Delta T = 0$).

Se constată că trecerea de la curba (5) ($\Delta T = 0$) la curba (4) ($\Delta T_{optim} \neq 0$) afectează în mod sever valoarea randamentului, cu un factor de aproximativ 0,5. Prin urmare în proiectarea sistemelor reale această optimizare se impune ca fiind deosebit de importantă.

În perspectivă se impune departajarea și identificarea pierderilor interne și elaborarea unei scheme de calcul pentru punerea lor în evidența cantitativ, într-o o manieră analitică și nu numai sintetică, așa cum s-a procedat în lucrarea de față luîndu-le în considerare global prin factorul 1/3.

Bibliografie

[1] Iordache, R., Petrescu, A. S. Petrescu, S. *Optimizarea temperaturii receptorului de radiație solară concentrată tip cavitate cilindrică pentru un motor solar.* În: Buletinul IPB, 1991.

[2] Vărzaru, V., Lauric, M., Molnar, T. *Concentrator parabolic pentru centralele solaroelectrice cu concentrare distribuită.* In: Energetica 32 (1984), nr. 4, pg. 168—173.

[3] Vărzaru, V. *Rezultate experimentale obținute la concentratorul parabolic CP-30.* In: Energetica 3(1986), nr. 4, pg. 167—171.

[4] Petrescu, S., Iordache, R., Costea, M., Brusalis, T., Petrescu, V., Cerna M. *Metodă grafoanalitică pentru optimizarea termică și dimensională a receptorului de radiație solară concentrată tip cavitate prevăzut cu stocaj termic în topituri (573 — 773 K).* Lucrările Simpozionului de Termotehnică și Mașini Termice, Timișoara, 4 — 5 noiembrie 1988.

[5] Petrescu, S., Brusalis, T., Iordache, R., Costea, M., Petrescu, V., Vărzaru, V., Mihăilescu, C. *Cercetarea și proiectarea radiației concentrată pentru MAES-solar și a bazei de încercări.* Contract de cercetare științifică nr. 24-4-5-A/1986.

[6] Petrescu, S., Iordache, R., Costea, M, Fleșariu, D., Ionescu, L., Uram, M., Fülop, E., Dumitrescu, M. *Optimizarea receptoarelor de radiație solară concentrată luînd în considerare ireversibilitatea transferului de căldură cu diferență finită de temperatură.* Sesiunea cercurilor științifice studențești, IPB, aprilie 1989.

[7] Petrescu, S., Brusalis, T., Iordache, R., Costea, M., Petrescu, V., Vărzaru, V. Mihăilescu, C. *Receptor de radiație solară concentrată cu stocaj termic în topituri.* A V-a Consfătuire cu tema: „Valorificarea resurselor energetice refolosibile și a surselor neconvenționale", Mamaia, mai 1989.

(Primit la 31 mai 1990, acceptat la 11 iulie 1990)

Considerații privind oportunitatea vaporizării în trepte la cazanele de abur din centralele electrice de termoficare

Dr. ing. LUCIAN NEGULESCU*

Descriptori: centrale electrice de termoficare, cazane de abur, vopsitorie în trepte

Balanța apă-abur-condensat în cazul unei centrale electrice de termoficare este deficitară datorită cantităților mari de condensat, care nu se recuperează de pe platformele industriale, la care centrala furnizează energia termică. Această situație defavorabilă obligă la alimentarea cazanelor de abur cu o apă constituită în cea mai mare parte din apă demineralizată. În ultimii ani au crescut concentrațiile de silice coloidală din apele naturale, care se supun demineralizării. Silicea coloidală care se regăsește în apa demineralizată se transformă în silice ionică în cazan, avînd consecințe grave asupra turbinelor de abur. În lucrare se propune trecerea la concepția vaporizării în trepte care poate rezolva în momentul de față o exploatare sigură a cazanelor de abur și a centralelor în general.

The balance water-steam-condensate for a combined heat and power plant is critical due to the large quantities of condensate which are not recovered from the industrial platforms which the plant supplies power to. This unfavorable situation requires that the steam boilers be supplied with an almost entirely demineralized water. For the last years, the colloidal silica concentrations have increased in the natural waters which are subject to demineralization. The colloidal silica present in the demineralized water gets into ionic silica inside the boiler resulting in severe effects on the steam turbines. The paper proposes the alternative of the stage vaporization which can assure a reliable operation of the steam boilers and of the combined heat and power plants as well.

Centralele electrice de termoficare (CET) au o situație specială din punctul de vedere al regimului chimic al apei la cazanele de abur. Particularitatea acestor centrale rezultă din relația lor cu platformele industriale cărora le livrează energie termică. Energia termică, livrată în majoritatea cazurilor sub formă de abur la presiuni de 10 ... 13 bar și mai puțin la 40 bar, precum și apă fierbinte, provine de la un cazan cu parametrii ridicați (140 bar, 540°C) prin intermediul prizelor unei turbine. Aburul este folosit în schimbătoare de căldură în cadrul diverselor procese tehnologice, condensatul recuperat urmînd a se returna la CET.

Cazanele de abur din dotarea CET-urilor sînt de tipul cu circulație multiplă (naturală sau forțată) și pentru care nu sînt prevăzute instalații de tratare sau finisare a condensatului.

Voi face unele precizări cu privire la regimul chimic al cazanelor cu circulație multiplă.

Pentru aceste cazane este stabilit să funcționeze în sistem „filtru", adică menținerea indicilor chimici ai apei din tamburul cazanului să se facă pe seama purjei continue, sistem motivat de condițiile specifice CET-urilor:

— recuperarea mai slabă a condensatului și cu o oarecare impurificare,

— lipsa unei instalații de tratare și finisare a condensatului,

— ponderea mare, 2/3 în dotarea CET, a grupurilor cu contrapresiune.

Prescripțiile tehnice ISCIR C — 18 stabilesc pentru CET un cuantum de purje de maximum 5 % din debitul de abur.

Dacă se ia drept referință un indice cu grad redus de transformare în procesul de generare a aburului, respectiv conductivitatea electrică specifică, corectată, făcîndu-se apel la relația de bilanț apă de alimentare-apă din cazan:

$$\gamma_{al} = \frac{\gamma_{caz} \cdot P_j}{100 + P_j}, \qquad (1)$$

în care: γ_{al} este conductivitatea electrică a apei de alimentare, $\mu S/cm$,

γ_{caz} — conductivitatea electrică a apei din cazan, $\mu S/cm$,

P_j — cuantumul purjei, % din debitul de abur,

luînd pentru P_j valoarea de 5 % — admisă pentru cazanele de abur care funcționează în regim de CET, se obține:

$$\gamma_{al} = \frac{5 \cdot \gamma_{caz}}{100 + 5} \quad \text{sau} \quad \frac{\gamma_{caz}}{\gamma_{al}} = 21. \qquad (2)$$

Cunoscînd că aceste cazane sînt alimentate cu apă demineralizată, finisată, prin filtru cu pat mixt, apa de alimentare va avea o conductivitate fixă de 0,3 ... 0,5 $\mu S/cm$, ceea ce înseamnă că în tambur se va ajunge la 10 $\mu S/cm$.

Cuantumul de 5 % nu poate fi respectat datorită prezenţei în apă a silicei coloidale, care în ultimii ani s-a făcut resimţităîn toate apele de suprafaţă, din care se alimentează instalaţiile de demineralizare.

Conţinutul de silice coloidală în apele naturale a crescut ca urmare a poluării chimice a acestora. Deversarea de substanţe chimice cu conţinut de azot şi fosfor, datorită caracterului lor de nutrienţi, a condus la intensificarea procesului de eutrofizare, care are drept urmare creşterea pH-ului, provocată de schimbul între ionii HCO_3^- cu OH^-.

Deplasarea pH-ului spre 9,0 şi uneori peste, favorizează trecerea unor complecşi de Fe, Al etc. într-o formă coloidală. Această formă nu este reţinută decît parţial în procesul de coagulare şi trece, fără să participe la schimbul ionic, prin lanţul de demineralizare.

Silicea coloidală nu poate fi decelată prin analiza obişnuită cu reactivul sulfomolibdenic, de aceea se numeşte şi nereactivă sau neionică. Pentru a o aduce în stare reactivă, ionică, se procedează diferit, fie se fierbe într-o soluţie alcalină, fie se trece în soluţie prin atac cu acid fluorhidric în forma de acid fluosilicic.

Ajunsă, cu apa de alimentare, în tambur, silicea coloidală, ca urmare a condiţiilor din acesta, trece în silice ionică. În acest fel relaţia de purje nu mai corespunde realităţii.

Apa demineralizată are un conţinut de 0,02 ppm SiO_2 reactivă, prin concentrare în tambur, în cazul unei purje de 5%, adică la o cifră de concentrare de 20 ar trebui să ajungă la circa 0,4 ppm SiO_2 valoare care corespunde cu limita maximă, admisă pentru cazane funcţionînd la o presiune de 150 bar (fig. 1).

În realitate, la cazanul studiat, cazan cu circulaţie naturală de 150 bar, s-au înregistrat valori frecvente de 0,7 ppm SiO_2 şi chiar peste. Aceasta a condus la necesitatea aplicării unui

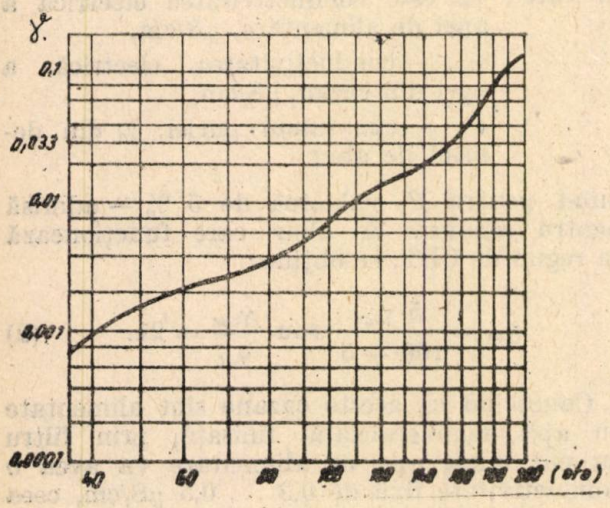


Fig. 1. Factorul de distribuţie a silicei între cele două faze apă-abur, funcţie de presiunea de regim.

cuantum de purje de 8 %, impus de limita admisă pentru silice. Pornind de la ipoteza că în apa din tambur a existat o concentraţie de 0,7 ppm SiO_2 la o purje de 8 %, atunci în apa de alimentare au existat, conform relaţiei :

$$SiO_{2al} = \frac{SiO_{2caz} \cdot P_j}{100 + P_j} \qquad (3)$$

şi înlocuind :

$$SiO_{2al} = \frac{0{,}7 \cdot 8}{100 + 8} = 0{,}052 \text{ ppm},$$

deci silicea coloidală în apa de alimentare a fost de circa :

$$0{,}052 - 0{,}02 = 0{,}032 \text{ ppm}.$$

Deci se constată, în mod evident, prezenţa silicei coloidale într-o proporţie apreciabilă, datorită fenomenelor de poluare a apelor de suprafaţă.

Procesul de eutrofizare, pe care l-am menţionat, este favorizat într-o oarecare măsură şi de stagnarea apei în barajele aferente sistemului hidroenergetic. Ca urmare a stagnării apei în lacurile de acumulare, aceasta se sărăceşte în oxigen şi sînt avantajate procesele anaerobe şi în acest fel creşte conţinutul de substanţe organice.

Prin uzinare intermitentă, în aval de baraje debitul apei devine de multe ori inferior celui pentru care s-au stabilit raporturile de diluţie din autorizaţiile de deversare a unor ape uzate şi epurate.

În aceste condiţii apele de suprafaţă se caracterizează, în general, prin :

— valoarea pH-ului $\leqslant 9$,

— concentraţia substanţelor organice pînă şi peste 100 ppm $KMnO_4$,

— conţinutul de silice coloidală circa 40 % din silicea totală,

— suspensii, în medie 50 ppm.

— duritatea totală, parţial precipitată sub formă de $CaCO_3$ şi $Mg(OH)_2$, aflată în suspensie.

În procesul de coagulare această structură compoziţională a apelor de suprafaţă prezintă o serie de dificultăţi.

Astfel, datorită faptului că suspensiile se află în concentraţii relativ mici, doza de coagulant este, în consecinţă, mai mică şi în cazul folosirii drept agent de coagulare a sulfatului de aluminiu nu se poate atinge valoarea optimă a pH ÷ ului pentru coagulare.

Acidul sulfuric rezultat din hidroliza sulfatului de aluminiu se va consuma pentru :

— neutralizarea alcalinităţii apei,

— readucerea în soluţie a durităţii parţial precipitate,

— insolubilizare în sulfat de calciu.

În acest fel pH-ul nu poate fi adus la valori sub 7,2, pentru insolubilizarea hidroxidului de aluminiu, ca urmare aluminiul se va afla sub formă anionică, solubilă, în apa tratată, cu consecinţe nedorite pentru răşinile schimbătoare de ioni şi chiar pentru cazanele de abur. De multe ori este necesar să se adauge acid sulfuric pentru corecţia pH-ului, ceea ce conduce la creşterea încărcării anorganice a apei.

Cînd se foloseşte sulfat feros, drept agent de coagulare, datorită conţinutului mare de substanţe organice şi destul de frecvent şi amoniu, fierul nu se oxidează la treapta trivalentă, ceea ce face ca după limpezire apa să mai conţină fier bivalent în soluţie. Se apelează uneori la clor, dar acesta este consumat în primul rînd de substanţele organi ceşi de ionii de amoniu, fiind necesare adaosuri mari de clor, avînd drept urmare creşterea concentraţiei de cloruri.

În ambele cazuri coagularea nu este corespunzătoare şi deci reducerea de silice coloidală este minoră.

Un alt incovenient apărut în ultimul timp şi care a provocat un număr de avarii este acidul clorhidric, provenit din sinteze organice şi folosit la regenerarea răşinilor cationice. Acest acid conţine concentraţii mai mari sau mai mici de substanţe organice, în special derivaţi organocloruraţi.

Aceşti derivaţi pătrunşi în apa din tambur consumă alcalinitatea conform relaţiei (4):

$$C_nH_{2n+1}Cl + NaOH \rightarrow \begin{cases} C_nH_{2n+1} + NaCl \\ C_nH_{2n} + NaCl + H_2O \end{cases} \quad (4)$$

După ce alcalinitatea a fost consumată are loc reacţia (5):

$$R - Cl + H_2O \rightarrow R - OH + HCl \quad (5)$$

De asemenea, se menţionează folosirea sodei din procesul de electroliză cu diafragmă (tip D) şi de caustificare (tip C) care conţin clorură de sodiu. Prin folosirea acestor sortimente la regenerarea filtrelor din instalaţiile de demineralizare se introduc grupări active Cl^- în anioniţii puternic bazici, care are drept consecinţă prezenţa ionilor de clor în apa demineralizată.

Pe lîngă toate aceste neajunsuri se adaugă şi acela că balanţa apă-abur-condensat, ca urmare a nerecuperării unor cantităţi însemnate de condensat de la consumatorii industriali obligă ca apa de adaos, apă demineralizată, să constituie circa 90 % din debitul apei de alimentare a cazanului.

Apa de adaos intervine, cu o pondere importantă, în structura compoziţională a apei de alimentare a cazanelor de abur, cu toate consecinţele.

Toate cele de mai sus obligă ca în exploatarea cazanelor de abur din centralele electrice de termoficare, să se practice un cuantum mare de purje şi în acest fel să nu se realizeze în apa din tambur alcalinitatea de protecţie.

În sprijinul acestor neajunsuri pledează introducerea sistemului de vaporizare în trepte.

Deoarece coeficientul total de distribuţie kd^t este:

$$kd^t = \frac{S_{ab}}{S_{caz}} \quad (6)$$

unde: S_{ab} este salinitatea totală a aburului (substanţe nevolatile), ppm,
S_{caz} — salinitatea totală a apei din tambur, ppm, este de obicei constant în condiţii staţionare; S_{ab} poate fi diminuat numai prin reducerea concentraţiei impurităţilor S_{caz}, care poate fi efectuată pe mai multe căi.

Pentru a găsi care metodă este mai bună, să considerăm balanţa substanţelor nevolatile (fig. 2 b).

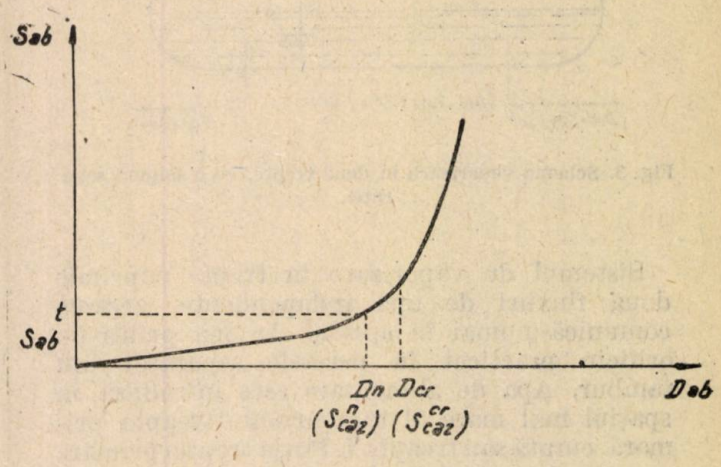


Fig. 2. Calitatea aburului faţă de capacitatea cazanului, respectiv faţă de debitul de abur.

Dacă se neglijează S_{ab} din relaţia de bilanţ (7):

$$S_{al} \cdot D_{al} = S_{caz} \cdot D_{pj} + S_{ab} \cdot D_{ab} \quad (7)$$

se obţine relaţia (8):

$$S_{caz} = \frac{S_{al} \cdot D_{al}}{D_{pj}} \quad (8)$$

şi înlocuind în (6) se obţine:

$$S_{ab} = \frac{S_{al} \cdot D_{al}}{D_{pj}} \cdot kd^t, \quad (9)$$

în care:

S_{al} este salinitatea apei de alimentare, ppm,
D_{al} — debitul apei de alimentare, t/h,
D_{pj} — debitul purjei, t/h.

Reiese clar că pentru a diminua S_{ab} trebuie, conform relației (9), redusă S_{al} sau să crească D_{pj}.

Diminuarea lui S_{al} se face pe două căi:

— demineralizarea avansată a apei de adaos și finisarea condensatului,

— reducerea dozelor de reactivi folosiți la condiționarea apei de alimentare.

De asemenea, trebuie avută în vedere și reducerea cuantumului de apă de adaos prin recuperarea cît mai avansată a condensatului de calitate corespunzătoare.

În practică rămîne ca S_{ab} să fie redusă prin mărirea cuantumului de purje, care determină o diminuare a S_{caz}.

O reducere a S_{caz} fără a practica o purje mărită este posibilă în sistemul de vaporizare în trepte (fig. 3).

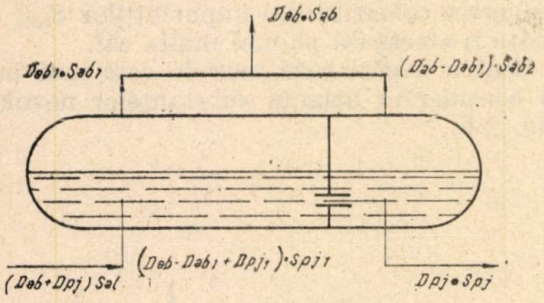


Fig. 3. Schema vaporizării în două trepte, cu o singură separație.

Sistemul de vaporizare în trepte cuprinde două fluxuri de apă independente, acestea comunică numai în spațiul de apă printr-un orificiu practicat în peretele separator din tambur. Apa de alimentare este introdusă în spațiul mai mare al tamburului — treapta primară, curată sau treapta I. Purja treptei primare servește drept apă de alimentare pentru treapta secundară de vaporizare denumită și treapta salină.

Vaporizarea în trepte se bazează pe crearea de concentrații diferite de săruri în cele două trepte. Caracteristica distinctivă a vaporizării în trepte este aceea că fracția cea mai mare de abur este generată în treapta primară, care are un conținut de săruri considerabil mai mic decît apa din compartimentul salin.

Treapta salină de vaporizare, a cărei capacitate de generare a aburului este exprimată, în mod uzual, în procente din D_{ab} și notată cu n, produce abur de aceeași calitate ca și în cazul funcționării fără vaporizare în trepte, avînd valori identice pentru salinitate, respectiv conductivitate.

Cu cît este mai mare cuantumul de abur produs de treapta curată care este $\frac{100-n}{n}$ ori mai mare decît cantitatea de abur generat în treapta salină, cu atît salinitatea aburului obținut într-un cazan cu două trepte de vaporizare este mai scăzută.

Această proprietate a vaporizării în trepte este de mare eficiență, cînd trebuie folosită o apă de calitate mai slabă.

Se convine să se aplice relațiile la un cazan modul cu o producție de 100 t/h, astfel că valorile pentru n și Pj pot fi exprimate atît procentual, cît și în t/h.

Cantitățile aferente treptei primare, treptei secundare și cazanului întreg vor fi marcate cu prim, secund sau respectiv fără marcare.

În cazul sistemului cu două trepte de vaporizare, bilanțurile materiale ale impurităților (salinității) se pot scrie:

— pentru cazan ca un întreg:

$$(100 + Pj)\cdot S_{al} = 100\cdot S_{ab} + Pj\cdot S_{caz}; \qquad (10)$$

— pentru treapta primară:

$$(100 + Pj)\cdot S_{al} = (100 - n)\cdot S'_{ab} + (n + Pj)\cdot S'_{caz}; \qquad (11)$$

substituind S'_{ab} cu valoarea din relația (7) se obține:

$$(100 + Pj)\cdot S_{al} = (100 - n)\cdot k'd\cdot S'_{caz} + (n + Pj)\cdot S_{caz}, \qquad (12)$$

de unde:

$$S'_{caz} = \frac{(100 + Pj)\cdot S_{al}}{n + Pj + (100 - n)\cdot k'\,d}. \qquad (13)$$

Deoarece cantitatea $(100 - n)\cdot k'd$ este mult mai mică decît $(n + Pj)$ și poate fi neglijată, avem:

$$S'_{caz} = \frac{100 + Pj}{n + Pj}\cdot S_{al} \qquad (14)$$

— pentru treapta secundară:

$$(n + Pj)\cdot S'_{caz} = n\cdot S''_{ab} + Pj\cdot S''_{caz}. \qquad (15)$$

Dat fiind că

$$S''_{ab} = k''\,d\cdot S''_{caz}. \qquad (16)$$

se obține:

$$(n + Pj)\cdot S'_{caz} = (n\cdot k''d + Pj)\cdot S''_{caz} \qquad (17)$$

de unde:

$$S''_{caz} = \frac{(n + Pj)\cdot S'_{caz}}{n\cdot k''d + Pj}. \qquad (18)$$

La valori mici ale lui $k''d$ și n, produsul $n \cdot k''d$ poate fi neglijat și deci :

$$S''_{caz} = \frac{n + Pj}{Pj} \cdot S'_{caz} \qquad (19)$$

Ecuația de bilanț pentru impuritățile conținute în abur are forma :

$$100\, S_{ab} = (100 - n) S'_{ab} + n\, S''_{ab} \qquad (20)$$

de unde :

$$S_{ab} = \left(1 - \frac{n}{100}\right) S'_{ab} + \frac{n}{100}\, S''_{ab} \qquad (21)$$

Eficiența vaporizării în trepte este evaluată prin raportul solidelor totale (alcalinitate, silice etc.) ale apei din cazan în ultima treaptă de vaporizare către acelea din treapta primară.

În cazul vaporizării în două trepte rata concentrațiilor este :

$$k_c = \frac{S''_{caz}}{S'_{caz}}; \qquad (22)$$

cu cît valorile lui k_c sînt mai ridicate cu atît mai mare este eficiența vaporizării în două trepte. În practică valorile lui k_c se plasează, în mod obișnuit, de la 3 la 10. La $k_c = 10$, concentrația în treapta salină poate deveni așa de mare încît apare pericolul depunerilor.

Dacă în relația (22) se înlocuiește valoarea lui S''_{caz} din relația (18), atunci expresia lui k_c devine :

$$k_c = \frac{n + Pj}{n \cdot k''d + Pj}, \qquad (23)$$

de unde :

$$n = \frac{k_c - 1}{1 - k_c \cdot k''d} \cdot Pj \qquad (24)$$

Produsul $k_c \cdot k''d$ nu trebuie să depășească 0,08 ... 0,1, prin urmare poate fi ignorat pentru un număr de cazuri.

Deci este sigur că se poate lua :

$$n = (k_b - 1)\ Pj. \qquad (25)$$

Aceasta reprezintă o formulă simplificată necesară calculului de echilibrare a celor două trepte.

Cuplajul secțiunilor treptelor de vaporizare poate fi aranjat atît în interiorul, cît și în exteriorul tamburului. În interiorul tamburului, treptele secundare sînt localizate la capetele tamburului așa cum se prezintă în figura 4.

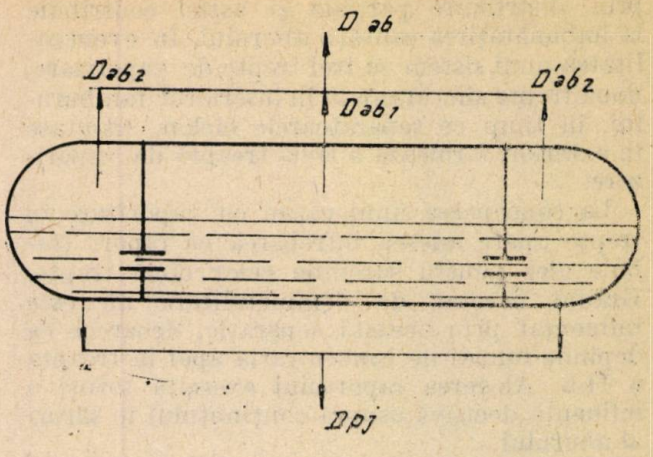


Fig. 4. Schema vaporizării în două trepte, cu două separații.

Neajunsul unui astfel de aranjament este acela că purja trebuie prelevată din două puncte din tambur, conducînd la un control chimic mai laborios. Un alt dezavantaj al acestui aranjament este că apa din cazan poate fi forțată să curgă de la unele trepte secundare la cea primară peste pereții despărțitori. Pătrunderea este evitată prin adoptarea de trepte exterioare de vaporizare, în afara tamburului.

Separatoarele ciclon apă-abur sînt plasate (2) (fig. 5) lîngă tambur (1). Suprafețele de vaporizare (3), în mod obișnuit o parte a ecranelor laterale, sînt conectate la aceste cicloane.

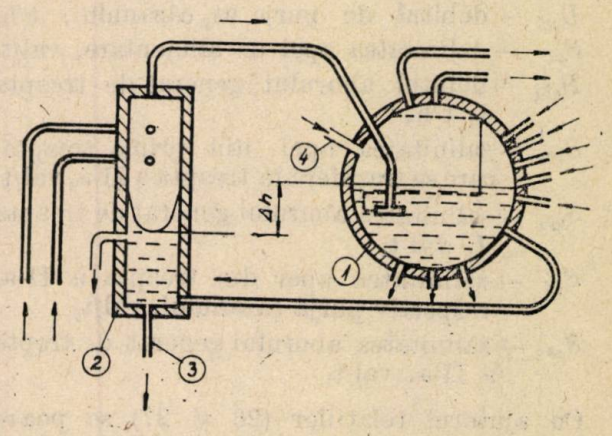


Fig. 5. Schema vaporizării în trepte, cu cicloane exterioare.

Apa de alimentare (4) este introdusă în tambur (treapta primară), de unde se face alimentarea cicloanelor. Cicloanele și ecranele conectate la acestea sînt circuite independente de apă.

De la separatorul de apă-abur de tip ciclon, aburul este dirijat în tambur sau direct la supraîncălzitor, în cazul în care calitatea aburului este destul de ridicată. Purja este prelevată din cicloane.

Sistemul cu cicloane montate în exterior, separatoare apă-abur permite neîncărcarea suplimentară a spațiului de abur al tamburului,

prin distribuire parțială și astfel contribuie la îmbunătățirea calității aburului. În eventualitatea unui sistem cu trei trepte de vaporizare, două trepte sînt aranjate în interiorul tamburului, în timp ce separatoarele ciclon, montate în exterior, formează a treia treaptă de vaporizare.

La conceperea unui cazan cu vaporizare în trepte apare adesea întrebarea ce raport trebuie ales pentru sarcinile celor două trepte. Gradul necesar de demineralizare nu este influențat prin această separație, deoarece ea depinde numai de concentrația apei în treapta a II-a. Alegerea raportului exercită totuși o influență decisivă asupra conținutului în săruri al aburului.

Pentru o alegere analitică a raportului optim al ambelor sarcini trebuie stabilit bilanțul de săruri al treptei a doua de vaporizare.

În sensul celor de mai sus se poate scrie :

$$(D_{ab} + D_{pj})S_{al} = (D_{ab} - D_{ab_1} + D_{pj})S_{pj1} + D_{ab_1} \cdot S_{ab_1}, \quad (26)$$

și

$$(D_{ab} - D_{ab_1} + D_{pj})S_{pj1} = D_{pj} \cdot S_{pj} + (D_{ab} - D_{ab1})S_{ab_2}, \quad (27)$$

în care :

D_{ab} este debitul total de abur al cazanului, t/h,

D_{pj} — debitul de purje al cazanului, t/h,

S_{al} — salinitatea apei de alimentare, val/t,

D_{ab_1} — debitul aburului generat de treapta I, t/h,

S_{pj1} — salinitatea apei din prima treaptă, care se transferă în treapta a II-a, val/t,

S_{ab_1} — salinitatea aburului generat de treapta I, val/t,

S_{pj} — salinitatea apei din treapta a II-a, respectiv purja cazanului, val/t,

S_{ab_2} — salinitatea aburului generat de trepta a II-a, val/t.

Cu ajutorul relațiilor (26 și 27) se poate calcula conținutul de săruri (salinitatea) al apei din cazan, din prima treaptă ca funcție a raportului dintre debitul de abur al primei trepte și debitul total de abur al cazanului D_{ab_1}/D_{ab}. Pentru simplificare va fi tratat sub forma $D_{ab_1}/D_{ab} = x$ și tot pentru simplificare se va folosi cifra de concentrare $C = S_{pj}/S_{al}$ a salinității din treapta a II-a.

Pentru a obține relația între x și salinitatea aburului, trebuie stabilită o formulă de calcul pentru salinitatea aburului.

Această salinitate este proporțională cu salinitatea apei în ambele trepte de vaporizare :

$$S_{ab1} = k \cdot S_{pj1} \text{ și } S_{ab2} = k \cdot S_{pj} \quad (28)$$

și pentru aburul supraîncălzit, care pleacă :

$$S_{ab} = k\ S_{pj1} \cdot x + S_{pj}(1 - x). \quad (29)$$

constanta este desigur funcție de natura sărurilor dizolvate în apă. Valoarea lui k crește cu presiunea, după cum se poate vedea în figurile 6 și 7.

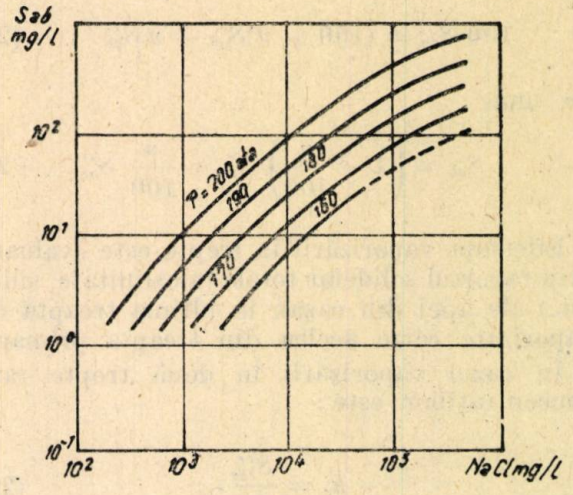


Fig. 6. Transferul de NaCl în aburul saturat, la diferite presiuni de regim și diferite concentrații ale NaCl în apa de cazan.

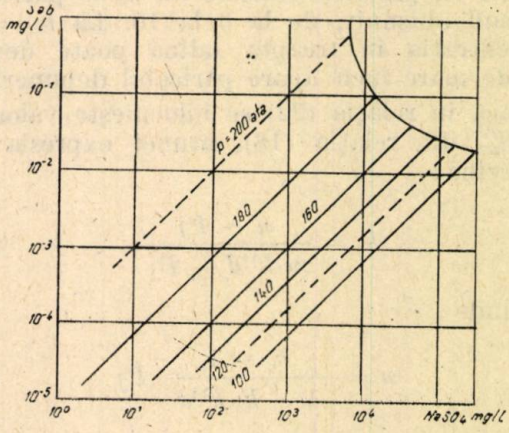


Fig. 7. Transferul de Na_2SO_4 în aburul saturat la diferite presiuni de regim și diferite concentrații ale Na_2SO_4 în apa de cazan.

Dacă se calculează S_{ab} pentru diferite valori ale lui x și C, se obțin curbele din figura 8, care prezintă cu atît mai net minima, cu cît este mai mare cifra de concentrare. Mărimea optimă a lui x, la care salinitatea aburului este minimă, se poate calcula prin reducerea la maximum a relației (29).

Acolo unde cazanele de abur sînt exploatate cu o cifră mare de concentrare, de exemplu în centralele electrice de condensație, un debit de abur de 5%, din debitul total, pentru

treapta a II-a apare ca optim. Deoarece această treaptă furnizează un abur mai murdar decît cel din treapta I, se poate reduce salinitatea aburului supraîncălzit prin aceea că aburul impur generat în treapta a II-a, în loc să fie supraîncălzit este condensat de către apa de

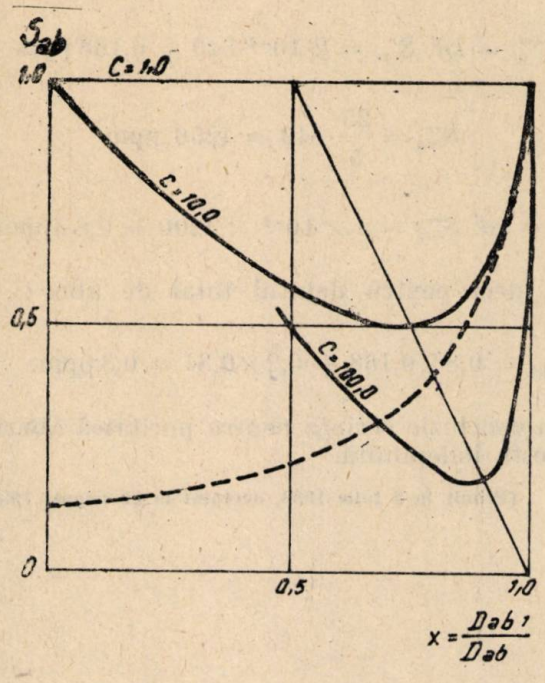


Fig. 8. Dependența între conținutul de săruri al aburului supraîncălzit și sarcina primei trepte de vaporizare.

alimentare și apoi condensatul reintrodus în tambur, odată cu apa de alimentare, în prima treaptă de vaporizare conform schemei din figura 9.

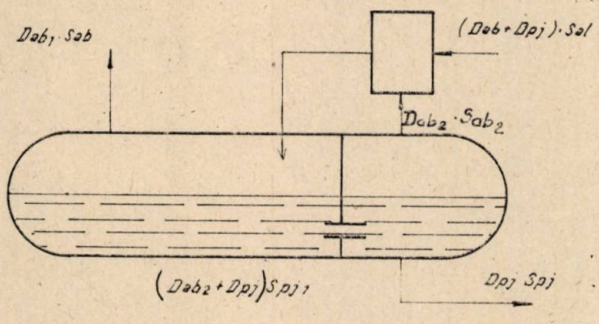


Fig. 9. Vaporizarea în două trepte cu condensarea aburului generat de treapta a II-a.

Din bilanțul de săruri rezultă în astfel de cazuri :

$$x = \frac{D_{ab1}}{D_{ab1} + D_{ab2}} = \frac{D_{ab}}{D_{ab} + D_{ab}} \qquad (30)$$

pentru salinitatea aburului relația devine :

$$S_{ab} = k \cdot S_{pj} \frac{x + k(1 - x)(C - 1)}{x + (1 - x)(C - 1)}. \qquad (31)$$

Poziția lui x este marcată în figura 8 cu o linie întreruptă.

În acest caz D_{ab1} este sinonim cu D_{ab}, deoarece întreaga cantitate de abur D_{ab2} este din nou condensată în cazan. Așa cum era de așteptat linia din figura 8 nu are un minimum și salinitatea aburului crește proporțional cu x. Prin această măsură este posibil ca salinitatea aburului în comparație cu cea a aburului generat într-o singură treaptă să fie redusă de :

$$\frac{x + (1 - x)(C - 1)}{x + k(1 - x)(C - 1)} \text{ ori.}$$

Sarcina posibilă a treptei a II-a, conform schemei din figura 9, este limitată de capacitatea de răcire a apei de alimentare venită de la preîncălzitoare. Deoarece la cazanele de înaltă presiune căldura de vaporizare r scade cu creșterea presiunii, este posibil la aceste cazane să se aleagă un x mai mic, astfel ca aburul să fie pur.

Cînd nu se dorește folosirea apei de alimentare pentru spălarea aburului, se poate ca și condensatorul prevăzut în schema din figura 9 pentru aburul generat în treapta a II-a să fie conceput ca un condensator de amestec, ca în figura 10.

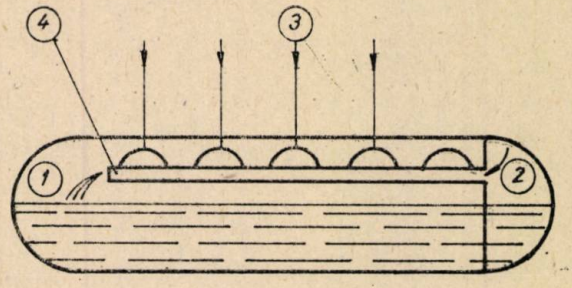


Fig. 10. Condensator de amestec pentru condensarea aburului generat de treapta a II-a de vaporizare : 1 — intrarea aburului în prima treaptă de vaporizare ; 2 — intrarea aburului din treapta a II-a de vaporizare ; 3 — introducerea apei de alimentare ; 4 — spațiul de condensare.

Aburul din treapta a II-a este introdus în spațiul de abur al treptei I printr-o țeavă care servește drept condensator de amestec, în care este distribuită, pe toată lungimea, apa de alimentare. Aburul din treapta a II-a este condensat de picăturile de apă de alimentare pulverizate și apoi curge în spațiul de apă al treptei I.

Să ne referim în final la un exemplu numeric pentru un cazan avînd datele de bază :

$$D_{ab} = 100 \text{ t/h}; \quad D_{pj} = 5 \text{ t/h}; \quad n = 20 \%;$$

$$S_{al} = 200 \text{ ppm};$$

$$P = 3{,}5 \text{ MPa}; \quad kd^t = 0{,}02 \%.$$

Salinitatea aburului, S_{ab}, să nu depășească 0,3 ppm.

În primul rînd se determină calitatea aburului furnizat de către un cazan fără vaporizare în trepte, făcînd uz de formula (9):

$$S_{ab} = \frac{200 \times 105 \times 2 \cdot 10^{-4}}{5} = 0{,}84 \text{ ppm.}$$

Salinitatea aburului este prea mare. Calitatea aburului de 0,3 ppm poate fi asigurată numai la o capacitate de:

$$D_{ab} = D_{al} - D_{pj} = \frac{D_{pj} \cdot S_{ab}}{kd^t \cdot S_{al}} - D_{pj} =$$

$$= \frac{5 \times 0{,}3}{2 \times 10^{-4} \times 200} - 5 = 32{,}5 \text{ t/h}$$

Avînd în vedere că S_{al} nu poate fi redus datorită lipsei de condensat, decizia care trebuie luată în acest caz este de a concepe cazanul pentru vaporizarea în două trepte, și ca urmare vom avea:

$$S'_{caz} = \frac{105}{25} \cdot 200 = 840 \text{ ppm}$$

$$S'_{ab} = kd^t \cdot S'_{caz} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 840 = 0{,}168 \text{ ppm}$$

$$S''_{caz} = \frac{25}{5} \cdot 840 = 4200 \text{ ppm}$$

$$S''_{ab} = kd^t \cdot S''_{caz} = 2 \times 10^{-4} \times 4200 = 0{,}84 \text{ ppm}$$

și deci pentru debitul total de abur:

$$S_{ab} = 0{,}8 \times 0{,}168 + 0{,}2 \times 0{,}84 = 0{,}3 \text{ ppm.}$$

În concluzie cerința pentru puritatea aburului este îndeplinită.

(Primit la 2 iulie 1990, acceptat la 20 august 1990)

90 DE ANI DE LA DAREA ÎN FUNCȚIUNE A TRAMVAIULUI ELECTRIC LA IAȘI

După semnalarea utilizării primei lămpi electrice (24 ianuarie 1873), în Iași s-a trecut la realizarea primelor instalații de producere a energiei electrice pentru utilități publice, începînd cu uzina electrică a spitalului Sfîntul Spiridon (1894), cu uzina Teatrului Național (1896) și a Universității (1897). Din această perioadă datează preocupările pentru construirea uzinei electrice comunale (dată în funcțiune la 6 mai 1899) și pentru introducerea tramvaielor electrice.

Ca și în alte localități, au existat inițial propuneri pentru introducerea tramvaielor cu cai, mijloc de transport în comun de călători adoptat de orașul New-York în 1859. În acest sens, la data de 21 ianuarie 1874 s-a primit o ofertă din partea societății ,,English Tramway Company'' pentru ,,a se construi în orașul Iassy căi ferate americane — Tramways —, sub condițiile alăturate ale acestui drum în orașul București'' [1]. După cum se știe, în București tramvaiele cu cai au fost introduse din anul 1871.

În Iași au existat preocupări pentru organizarea unor sisteme de transport în comun cu tracțiune animală, începînd din anul 1848, cînd Teatrul de la Copou a înființat, de la data de 1 februarie 1848, două trasee de ,,dilijanse'' pentru ,,a ține comunicația teatrului și a balurilor măscuite'' [2]. Ulterior, au fost înființate trasee de ,,omnibuze'' pentru transportul călătorilor din oraș înspre grădina de vară ,,Pester'' de la Breazu sau înspre ,,băile hidrice'' de la Repedea. În rest, se utilizau anticele birje, în anul 1877 în Iași existînd 187 birje cu un cal și 51 birje cu doi cai.

Istoria tramvaiului electric din Iași începe cu acel ,,Studiu comparativ între deosebite sisteme de tracțiune'' întocmit de inginerul A. Savul și prezentat la Consiliul Comunal al Primăriei Iașului la data de 9 ianuarie 1895. Dintre cele trei sisteme de tracțiune analizate (tracțiune animală, cu aburi și electrică) se opta pentru ultima. Rămasă fără finalizare, problema a fost reluată în studiul întocmit, la cererea primarului Nicolae Gane, de către inginerul șef al orașului, Charles Chaigneau, studiu prezentat în luna octombrie a anului 1896 [3]. Se pleda tot pentru tracțiunea electrică, nu însă fără a se aminti și de ,,sistemul cu motor de petroliu'', deci pentru autobuze, menționîndu-se că: ,,Acest gen de motor a făcut mari progrese cu trăsurile auto-mobile''. Amintim că, la Iași, primul automobil de tip ,,Napièr'' a fost adus de doctorul Ernest Juvara în vara anului 1990.

Dorind să rezolve concomitent două probleme de mare interes pentru cetățenii Iașului, primăria a organizat, la data de 6 septembrie 1897, ținerea unei licitații pentru concesionarea lucrărilor de introducere a iluminatului electric și a tramvaielor electrice. Pentru tramvai, a fost acceptată oferta societății AEG din Berlin, pentru iluminatul electric acordîndu-se concesiunea unei societăți din Nürnberg [4]. ,,Avem a ne felicita pentru izbînda zilei de azi — a spus primarul Nicolae Gane în ședința Consiliului Comunal din 6 septembrie 1897 — căci am izbutit să dăm orașului două îmbunătățiri de mult dorite de cetățeni'' [5]. Lucrările pentru uzina electrică a tramvaielor, amplasată pe strada Moțoc (actuală ,,Uzinei'') au început în primăvara anului 1898. Definitivarea celor cinci trasee ale liniilor de tramvai s-a făcut după lungi discuții, la care au luat parte și cetățenii orașului, impunîndu-și punctul de vedere, cum ar fi de exemplu realizarea traseului Cucu-Sărărie, neprevăzut în contract și modificarea traseului spre abator prin strada Bulgară (actuala Ion Creangă). Prinele probe, pe traseul Gară — Hală, au fost făcute în ziua de 24 ianuarie 1900. ,,Rezultatul este foarte mulțumitor'' — consemna ziarul ,,Ecoul Moldovei'' din 27 ianuarie. Vagoanele, pe lîngă că sunt destul de cuprinzătoare (46 locuri, n.n.), apoi sunt foarte elegante. Pentru moment, singurul inconvenient pe care îl produce e spărierea cailor de la trăsuri''. Același ziar publica, la 16/28 februarie 1900, următorul anunț al societății concesionare: ,,*Aducem la cunoștința onor public din Iași că în ziua de 17 februarie (1 martie) 1900 vom preda circulației prima linie a tramvaiului electric dintre Gară și Hală. (...) Prețul unui parcurs de orice lungime pe întinderea liniei Gară — Hală și viceversa este de 15 bani*''.

Din raportul inginerului Laurențiu Teodoreanu, viitorul director al ,,Uzinei de lumină'', datat 15/17 iunie 1898, în care se analiza proiectul prezentat de soc etatea concesionară, cunoaștem detaliile tehnice ale instalațiilor proiectate. Uzina electrică a fost prevăzută cu trei grupuri electrogene, cu motoare cu aburi, de 160 C.P., fiecare antrenînd prin curele trei generatoare de tip AEG, 550 V, 220 A. Cazanele alimentate cu motorină (păcură) erau de tip Erste Brünner, de 10 atm. O puternică baterie de acumulatoare asigura, în timpul nopții, cînd uzina nu funcționa, retragerea vagoanelor de pe trasee și manevrele în incinta depoului [6].

Între 1911—1916, uzina electrică a tramvaielor a fost amplificată, montîndu-se două grupuri electrogene cu motoare diesel tip MAN de 300 CP, antrenînd două generatoare AEG 530/580 volți, 368/366 A. Cele cinci trasee erau deservite de 33 vagoane motoare, cu echipamentul de comandă la ambele capete, deoarece nu existau bucle (rondouri) de întoarcere la capetele de linii. Mai exista un număr de vagoane motoare cu destinație specială (transport de mărfuri, de motorină, chiar și un vagon cu motor electric pentru tăiat lemne...), un vagon de curățit zăpada și două vagoane-platformă pentru transportul de materiale necesare întreținerii liniilor. Într-o primă etapă, au existat și vagonete pentru transportul de gunoi, atașate la vagoanele de călători, ceea ce a provocat proteste vehemente din partea populației, obținîndu-se renunțarea la acest sistem de salubrizare a orașului. Viteza maximă admisă de primărie era de... 12 km/oră, prilej de îndelungată dispută cu societatea concesionară, deoarece ar fi dus la o viteză comercială de 6 km/oră ...*ceea ce ar degrada instituțiunea la iuțeala carului cu boi*''.

Din 1916, tramvaiele din Iași au fost preluate de statul român, ca bunuri aparținînd inamicului. Un timp au fost exploatate de primărie, prin serviciul tracțiunii, pentru ca, din 1921, să se reuneaască tramvaiele cu uzina electrică sub o singură conducere [7]. Ulterior au trecut în administrarea Societății Comunale de Electricitate Iași (SCEI) înființată la 8 iunie 1924. Amplificarea uzinei electrice (1925—1930) și montarea primelor redresoare cu vapori de mercur în incinta acestei uzine, a permis dezafectarea, din 1927, a uzinei electrice a tramvaielor.

În 1901 lungimea liniilor de tramvai din Iași era de 17 km.

Detalii despre istoricul tramvaielor din Iași și despre evoluția instalațiilor pînă în ultimii ani se găsesc în manuscrisul ,,*Din istoria transportului de călători la Iași*'', întocmit în colaborare cu Muzeu Politehnic Iași (1986) [8]. Mai adăugăm că, de la data de 1 mai 1985 pe străzile Iașului au apărut primele troleibuze [9[care treptat au determinat dispariția tramvaielor.

Fiind vorba de orașul în care literatura își pune amprenta pe întreaga viață socială și economică a urbei, nu putem încheia fără să amintim că tramvaiul electric din Iași a inspirat multe opere cu caracter beletristic, începînd cu schița satirică ,,Ilie și tramvaiul'' (1900) pînă la savuroasele schițe semnate de G. Topârceanu (,,Civilizație locală''), Titus Hotnog (,,O călătorie cu tramvaiul''), Otilia Cazimir (,,În tramvai''), Lucia Mantu (,,Un zîmbet...'') Aurel Leon (,,Mircea Volanschi''). La scoaterea din funcțiune a ultimului tramvai de pe strada Sărăriei, Televiziunea Română a prezentat reportajul ,,Ultimul tramvai'' semnat de Mircea Radu Iacoban.

Bibliografie

[1] Arhivele Statului Dosar 90/1874, Fond Primăria Iași.
[2] Th. Burada *Istoria teatrului din Moldova*, Tipografia H. Goldner, 1921, pag. 27.
[3] Arhivele Statului Dosar 196/1897, Fond Primăria Iași
[4] Arhivele Statului Dosar 196/1897, Fond Primăria Iași.
[5] Ziarul ,,Evenimentul'', Iași, 11 sept. 1897.
[6] Arhivele Statului, Iași Dosar 196/1898, Fond Primăria Iași.
[7] Arhivele Statului, Dosar 240/1920 Fond Primăria, Iași.
[8] Muzeul Politehnic Iași, *Din istoria transportului de călători în orașul Iași* (manuscris, 1986).
[9] Ziarul ,,Flacăra Iașului'' din 1 mai 1985

Ing. CONSTANTIN OSTAP
IRE Iași

ORGANIZAREA ACTIVITĂȚILOR ECONOMICE PUBLICE ÎN TRECUT, CU PRIVIRE SPRE VIITOR

Argument

Naționalizarea în România, în anul 1948, a principalelor mijloace de producție a adus în proprietatea statului patrimoniul cu caracter economic care aparținuse particularilor. Acest aport se adăuga patrimoniului cu caracter economic, care aparținea statului dinaintea naționalizării și care, după cum se arată mai departe, era mai mare decît al particularilor. Prin activitatea economică desfășurată după 1948 patrimoniului statului i s-au adăugat importante valori.

În prezent, excluzînd patrimoniul cooperativelor agricole și ale meseriașilor, restul patrimoniului economic aparține statului.

În condițiile noi create de revoluția din decembrie 1989, au început să se emită păreri de reorganizare a structurii și funcționării patrimoniului economic public.

Drept contribuție la studiile și dezbaterile care sînt necesare, prezentăm în materialul de față structurile și modurile de funcționare ale întreprinderilor economice publice existente în România pînă la naționalizarea din 1948.

Deoarece acele forme trecuseră prin evoluții, în cursul cărora fuseseră obiect de analize aprofundate, ele pot inspira și soluții de viitor.

Patrimoniul economic public al României înainte de naționalizarea din 1948

Înainte de naționalizare statul român era :

— *proprietarul a* :
- 28 % din suprafața împădurită a țării ;
- 66 % din suprafața inundabilă (în principal de Dunăre) și a principalelor bălți ;
- mari suprafețe agricole ;
- zăcămintelor de substanțe minerale, în baza constituției din 1923 ;

— *administratorul* :
- șenalurilor marilor riuri și a litoralului maritim

— *titularul*
- a numeroase întreprinderi producătoare de bunuri ;
- a o serie de întreprinderi, care executau servicii (transporturi, comunicații etc.) ;

— *participant* :
- la capitalul cîtorva mari întreprinderi societăți pe acțiuni.

În afara statului, comunele și județele aveau și ele un important patrimoniu economic.
La nivelul anului 1940 existau următoarele evaluări :

patrimoniul public	504 miliarde lei
patrimoniul public inclusiv bogățiile subsolului	1004 miliarde lei
patrimoniul persoanelor particulare	887 miliarde lei
Total general	1891 miliarde lei

Deci patrimoniul public reprezintă 53 % din patrimoniul total al țării. Patrimoniul public nu numai că era important ca valoare materială, dar era important și prin funcțiunile pe care le îndeplinea ; căile ferate și sistemul de comunicații condiționau întreaga viață a țării.

În astfel de condiții de la începuturile moderne ale statului român au fost preocupări de bună administrare a patrimoniului economic public ; ele s-au accentuat după unirea din 1918.

Constituirea și administrarea patrimoniului economic public în perioada 1859 — 1924

În perioada între unirea din 1859 și primul război mondial (1916 — 1918) s-a început crearea de industrii de către particulari, sub imperiul legilor de încurajare din 1887 și 1912, iar de către stat și comune executarea de investiții de interes public, strict necesare, de primă dotare a unui stat modern. Formele de organizare ale acestor acțiuni au fost : concesiunea, regia proprie și rareori societatea pe acțiuni, cu participare atît a unor colectivități publice, cît și a particularilor.

Necesitățile de investiții erau mari, dar mijloacele bănești ale statului erau firave și nu exista nici structura tehnică care să asigure execuția și exploatarea. În aceste condiții s-a impus realizarea prin concesiune care avea avantajele : statul nu făcea efort financiar inițial, iar restituirea capitalului investit se făcea în timp din producția care se obținea, tehnologia de realizare și exploatare era dintre cele experimentate, durata de realizare în general scurtă. Exemplul cel mai important de concesiune este al căilor ferate ; sistemul feroviar inițial a fost realizat în acest mod și a început să funcționeze în anul 1869.

Dar concesiile prezentau și neajunsuri. De aceea în 1879 s-a luat hotărîrea ca noi linii de cale ferată să se construiască de către stat, în regie proprie, cu mijloace bănești bugetare și cu personal tehnic din țară, dar format în specialitate (primul șef de serviciu a fost un inginer absolvent al unei școli superioare tehnice din Paris).

Răscumpărîndu-se liniile executate de concesionari, din anul 1883 a început să funcționeze Direcția Căilor Ferate Române, în cadrul Ministerului Lucrărilor Publice.

Electrificarea mai multor orașe ale țării s-a realizat tot prin concesiuni, dintre care unele mai tîrziu au fost răscumpărate și transformate în exploatări în regia comunelor respective. De exemplu : pentru construirea și exploatarea în București a primei centrale electrice de distribuție publică și a rețelei electrice, precum și de dezvoltare a distribuției de gaz existentă atunci s-a adoptat în 1906 concesiunea (preferată față de regia proprie și regia mixtă) larg justificată de primarul capitalei în expunerea de motive către Consiliul comunal. Este interesant de menționat dezavantajele regiei proprii invocate : investirea de către primărie a 13 milioane lei, sumă de care nu dispunea, cumpărarea de cărbuni din străinătate la prețuri mai ridicate decît concesionarul care era cumpărător și de cantități pentru alte uzine de gaz, ,,tendința de a luneca pe povîrnișul unui lux de personal'', tarife de vînzarea energiei electrice și a gazului sub acelea economice, adoptate sub presiunea consumatorilor etc.

Societatea Generală de Gaz și de Electricitate, constituită în baza concesiunii,a pus în funcțiune în scurt timp primele instalații electrice și le-a dezvoltat treptat. După 1918 concesiunea nu mai corespundea cerințelor de dezvoltare a electrificării unui oraș mare, în expansiune rapidă, și de aceea concesiunea a încetat prin cumpărarea de către primărie a acțiunilor. Întreprinderea a continuat să funcționeze ca societate pe acțiuni, formă dovedită foarte prielnică pentru o dezvoltare deosebită și care a fost considerată un model de adoptat și în alte sectoare de activitate. Mai este de remarcat că a fost unica întreprindere economică publică care a făcut o parte din personalul participant la capitalul întreprinderii prin atribuire de acțiuni.

Forma de regie a fost adoptată pentru multe activități, între care unele importante, ca de exemplu Regia Monopolurilor de Stat — RMS.

În ceea ce privește forma de societate pe acțiuni, cu participarea atît a unei colectivități, cît și a particularilor, o realizare remarcabilă a fost Societatea Comunală a Tramvaielor din București. Datorită faptului că valoarea nominală a acțiunilor emise era relativ mică, iar întreprinderea era prosperă, asemenea acțiuni deveniseră titluri valorice populare și ca atare răspîndite la mulți deținători.

Administrarea patrimoniului economic public în perioada interbelică

În această perioadă preocupările pentru o mai bună administrare a patrimoniului economic public s-au accentuat, formînd obiect de dezbateri ale inginerilor și economiștilor și de luări de poziție de către oamenii politici. Se ajunsese la concluzia că activitățile economice conduse centralizat, subordonate bugetului anual, care constituia un plan rigid cu o gestionare lipsită de elasticitate nu puteau da rezultate satisfăcătoare.

În aceste condiții s-au votat de către parlament două legi, stabilind forme noi de organizare, cea dintîi în anul 1924, din inițiativa guvernului liberal, și a doua în anul 1929, din inițiativa guvernului național-țărănesc. Aceasta din urmă, intitulată legea pentru organizarea și administrarea pe baze comerciale a întreprinderilor și avuțiilor publice, a avut un caracter radical, prevăzînd că : întreprinderile, instituțiile, exploatările și așezămintele publice care nu au atribuții exclusiv administrative, precum și toate bunurile și drepturile care fac parte din domeniul public sau privat al statului, județelor și comunelor, se vor organiza și administra în una din formele : arendare sau închiriere, concesiune, regie publică comercială, regie mixtă sau regie cooperativă. Organizarea sub formă de regie, frecvent aplicată în trecut, urma să fie eliminată, considerată improprie pentru activități economice.

Ne vom ocupa în continuare de formele : regie publică comercială și regie mixtă, care au avut cea mai largă aplicare și ar putea inspira soluții de viitor ; de asemenea vom menționa structura regiei cooperative, care, deși neaplicată în trecut, ar putea fi utilă în unele cazuri.

Hotărîrea de-a se adopta una din formele menționate aparținea autorităților publice (stat, comună sau județ), de care depindeau activitățile sau avuțiile respective.

Aplicarea legii era coordonată de Consiliul Superior al Administrării Întreprinderilor și Avuțiilor Publice.

Regia publică comercială avea drept scop să realizeze o eficiență economică superioară : prin descentralizarea deciziilor, acestea fiind luate aproape în totalitate la nivelul întreprinderilor, excepțional unele la nivelul organelor tutelare, prin dezvoltarea inițiativelor și asumarea responsabilităților de către organele de conducere ale întreprinderii și prin eliberarea de constrîngerile legilor care guvernau gestionarea. Regia publică comercială era persoană juridică, cu gestiune autonomă, a cărei funcționare era stabilită de un regulament, aprobat de consiliul sus-menționat. Administrarea regiei era încredințată unui consiliu de administrație, compus din 5 pînă la 9 membri. Ei erau numiți pe durată de 4 ani, de autoritatea tutelară astfel : circa două treimi din funcționarii superiori cu vechime și circa o treime din specialiștii recunoscuți, care nu

făceau parte din corpul funcționarilor. Participarea membrilor funcționari era o atribuție suplimentară aceleia de bază. Consiliul de administrație numea comitetul de direcție din doi membri și directorul regiei și avea putere de decizie în toate chestiunile privitoare la regie, exclusiv cele rezervate expres organelor tutelare. Directorul era numit de acele organe, pe baza avizului consiliului de administrație, dar putea fi angajat și prin contract; el era personal răspunzător de conducerea întreprinderii. Controlul conturilor era exercitat de către o comisie de control compusă din trei membri, numiți de autorități superioare de resort. Un comisar al guvernului lua parte la ședințele consiliului de administrație și putea suspenda aplicarea unor hotăriri care nu corespundea statutului sau intereselor superioare de stat.

Regia era condusă după principiile comerciale prin derogare de la legea contabilității publice; din venituri trebuiau să fie acoperite toate cheltuielile, inclusiv plata dobînzilor și amortizării capitalului investit și a împrumuturilor făcute pentru scopurile întreprinderii. Bugetul de cheltuieli cuprindea: cheltuielile de exploatare și cheltuielile de capital (investiții). În cazul cînd încasările nu ajungeau pentru acoperirea cheltuielilor curente se puteau acoperi prin împrumuturi. Bilanțul anual era însoțit de o dare de seamă asupra rezultatelor activității.

Sub formă de regii publice au fost organizate importante activități economice de stat: Casa Autonomă a Monopolurilor Regatului României (CAM), Căile Ferate Române, Poșta — Telegraf — Telefoane, Casa Autonomă a Pădurilor și Statului etc.

Sub această formă au fost organizate și activități economice comunale.

Pe baza rezultatelor activității regiilor publice comerciale, în cursul timpului au intervenit unele modificări ale dispozițiilor de organizare și funcționare, îndeosebi prin legea din 1934.

Regiile mixte, spre deosebire de regiile publice, făceau apel la capital particular, intern sau străin. Ele se constituiau cu aporturi în natură (teren, instalații etc.) și în numerar, din partea colectivităților publice (stat, comună, județ) și particularilor. Corespunzător aporturilor, partenerii primeau acțiuni. Întreprinderile astfel constituite erau administrate sub formă de societăți anonime, potrivit prevederilor codului de comerț, care reglementa funcționarea activităților economice ale particularilor. Un statut definea structura și funcționarea. Conducerea o avea consiliul de administrație format din 6—12 membri, dintre care 1/3 numiți de colectivitatea publică, iar restul aleși de adunarea generală a acționarilor particulari. Membrii consiliului alegeau președintele. Consiliul constituia comitetul de direcție din doi membri și directorul general al regiei, numit de consiliul de administrație. Controlul gestiunii era exercitat de 3—5 cenzori, în majoritate numiți de colectivitatea publică, iar restul de adunarea generală a acționarilor. Statul putea numi un comisar al guvernului, care lua parte la ședințele consiliului de administrație, cu dreptul de a suspenda hotăriri, care nu erau conforme cu statutul sau cu interesele superioare de stat. Pe data de 31 decembrie a fiecărui an întreprinderea întocmea bilanțul și îl supunea aprobării adunării generale a acționarilor împreună cu o dare de seamă a activității, tipărită; după aprobare, bilanțul se publica într-un ziar. Beneficiul net, după alocările la fondul de rezervă și pentru participarea funcționarilor și lucrătorilor de cel puțin 5 %, era atribuit acționarilor (colectivitate publică și particulari).

Dintre întreprinderile organizate sub formă de regie mixtă sînt de menționat în principal: Societatea Națională de Gaz Metan — SONAMETAN și mai multe întreprinderi de producere și distribuire a energiei electrice.

Regia cooperativă se putea constitui: prin asocierea unei colectivități publice cu o cooperativă, aducînd eventual ca aport social bunuri sau drepturi sau prin asocierea mai multor colectivități publice. Regia cooperativă era administrată sub formă de societate anonimă, în conformitate cu codul de comerț. La tipurile de întreprinderi menționate trebuie adăugate cooperativele, care grupau mici producători rurali sau mici meseriași, organizate și funcționînd pe baza legilor cooperației. În anul 1944 existau 6000 cooperative cu 1,150 milioane membri, funcționarea lor era coordonată și asistată de un institut central-INCOOP.

După cum am menționat legea din 1929 nu s-a ocupat de activități economice funcționînd sub formă de regii. Dar multe comune mici aveau activități economice pentru care regia publică comercială era o formă disproporționat de complexă. De aceea pentru asemenea cazuri s-a creat, prin legea exploatărilor comunale din 1938, o formă de regie cvasi comercială.

În modurile arătate în perioada interbelică s-a creat legal o varietate de forme organizatorice pentru activitățile economice publice.

Concluzii

Expunerea de față are drept scop să prezinte gîndirea care se formase în perioada interbelică asupra modului de organizare a întreprinderilor economice publice.

Se deduc imediat deosebirile de concepție față de cele care s-au afirmat și aplicat după 1948.

Ca atare expunerea poate deschide posibilități de dezbatere asupra soluțiilor de viitor.

Bibliografie

[1] Cartianu, P. Referat prezentat la 20 martie 1935 în cadrul ciclului de referate „Tehnica organizării unei administrații publice" inițiat de Institutul Român de Organizare Științifică a Muncii.

[2] Arcadian, N. P. *Industrializarea României.* Ed. Monitorului Oficial și Imprimeriile Statului, 1935.

[3] Moldovan, R. *Formarea și mișcarea capitalurilor în România.* Ed. Bucovina, 1940.

[4] Madgearu, V. *Evoluția economiei românești.* Ed. Independența Economică, 1940.

[5] Turdeanu, L. *Avuția publică în România* Ed. Cartea Românească, 1941.

Ing. PAUL CARTIANU*

* Ing. Paul Cartianu, prin activitatea desfășurată în perioada interbelică în cadrul cîtorva instituții — Societatea Generală de Gaz și de Electricitate din București, Asociația Generală a Producătorilor și Distribuitorilor de Energie Electrică din România, Consiliul Superior al Exploatărilor Comunale și Institutul Român de Organizare Științifică a Muncii — a luat parte la soluționarea de probleme privind organizarea unor activități economice publice.

NOUTAȚI

Din energetica mondială

PROBLEME ALE PROTECȚIEI MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR
METODĂ DE EXTRAGERE A SUBSTANȚELOR TOXICE (VANADIU) DIN APELE DE SPĂLARE LA CTE PE PĂCURĂ ȘI GAZE

Pe tema enunțată în titlu, revista *Promîșlennaia energhetika* nr. 10/1989 publică, sub semnătura autorilor Pușel I.V., Tiapenko V.K. și Poletaev L.N., un articol care poate prezenta un deosebit interes și pentru energetica românească. Este vorba de eliminarea poluării produse prin arderea la centralele electrice a păcurii cu conținut ridicat de sulf (2,5—4,0%) și de producerea de vanadiu comercial.

Odată cu creșterea conținutului de sulf în păcură se mărește cantitatea de cenușă rezultată, care se explică prin conținutul sporit, în păcura sulfuroasă, a substanțelor organice, în a căror structură intră atomii unor metale, în special cei de vanadiu, nichel și cupru.

La arderea vanadiului, conținut în combustibilul lichid, acesta se oxidează în principal pînă la pentaoxidul de vanadiu (V_2O_5), care constituie o substanță puternic toxică (Klim = = 0,002 mg/m³). După cum demonstrează unele cercetări [1], la arderea păcurii cu conținut de sulf, influența nocivă a oxizilor de vanadiu asupra atmosferei este aproximativ aceeași cu cea exercitată de oxizii de sulf și de azot luați la un loc.

În acest mod, centralele electrice care utilizează drept combustibil păcura cu conținut ridicat de sulf constituie nu numai o sursă poluantă cu oxizi de sulf și de azot, ci și una care emite noxe extrem de nocive, formate din diverse combinații ale vanadiului. Această împrejurare este una din cauzele principale ale utilizării în Japonia la cazanele care ard păcură sulfuroasă a unor electrofiltre și cicloane pentru captarea cenușii la arderea păcurii [2], avînd un grad de reținere de minimum 95%.

În cazul neutilizării unor astfel de instalații, cea mai mare parte a cenușii se evacuează în atmosferă, restul depunîndu-se pe suprafețele de încălzire ale cazanului, în depunerile respective rămînînd 30% din totalul cantităților de vanadiu și de alte metale neferoase conținute în păcură.

Spălarea suprafețelor de încălzire este metoda cea mai răspîndită în acțiunile de îndepărtare a depunerilor de cenușă. Tehnologiile de prelucrare a apei de spălare, existente în prezent, se caracterizează prin formarea unui șlam cu conținut de vanadiu și de cupru-nichel, cu un amestec substanțial de fier, fapt care scade în mod esențial valoarea produsului rezultat la CTE (vanadiu comercial).

Cel mai economic proces de extracție a vanadiului se dovedește însă a fi schimbul de ioni. Avantajele acestei metode sînt următoarele: 1 — gradul mare de extragere din soluția produsului final; 2 — epurarea corespunzătoare de diverse substanțe străine; 3 — reducerea volumului soluției în stadiul de depunere; 4 — simplitatea aparatelor utilizate; 5 — posibilitatea obținerii unui produs comercial de înaltă calitate, concretizat în pentaoxidul de vanadiu.

După cum este cunoscut, pentaoxidul de vanadiu dizolvat în apă produce o serie de ioni. La trecerea treptată de la un mediu puternic acid la unul puternic bazic V 205 schimbă de șase ori conținutul ionilor săi, trecînd din cationul $VO2^+$ într-o serie de cinci anioni (în original sînt redate formulele chimice ale acestora) [3]. O astfel de diversitate de proprietăți ale produsului permite ca schimbul de ioni să se utilizeze în mod eficient pentru extragerea vanadiului din apele de spălare. În figura 1 este redată schema de principiu utilizabilă la prelucrarea apelor de spălare, cu valorificarea și separarea elementelor componente, propusă de filiala bielorusă a Vnipi-energopron din Minsk.

Apele de spălare se tratează cu un oxidant (de exemplu clor) în scopul aducerii legăturilor chimice de vanadiu și fier în starea de valență maximă, la un pH constant, egal cu 2—2,2. Apoi apele de spălare sînt trecute printr-un filtru de cărbune, în scopul curățirii prin absorbție de resturile de produse petroliere, iar în continuare sînt direcționate la un filtru anionic în care se realizează absorbția vanadiului pentavalent, aflat în soluție sub formă de acid de decavanadiu.

Este indicată utilizarea anioniților vinilino-piridinali de tip VP—3A (n) și VP—1p, care posedă o capacitate mare de

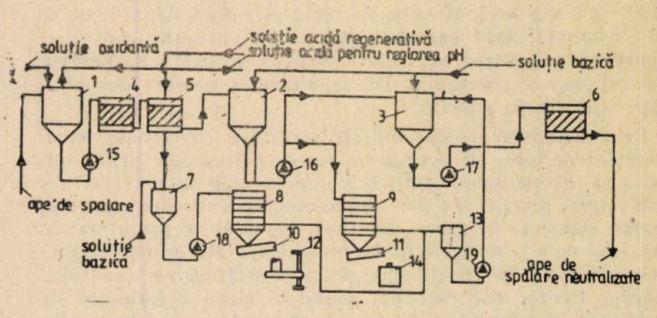


Fig. 1. Schema tehnologică de principiu pentru prelucrarea complexă a apelor de spălare: 1 — rezervor oxidant; 2,3 — rezervoare neutralizare; 4—6 — filtrele cărbunos, anionic și cationic; 7 — rezervor pentru depuneri; 8,9 — prese-filtru; 10, 11 — snecuri; 12-mașina de cusut saci; 13 — rezervorul soluției filtrate; 14 — conteiner; 15—19 — pompe.

schimb pentru vanadiu, o bună rezistență mecanică și termică [4]*.

În scopul extragerii vanadiului cu eficiența necesară poate fi utilizat și anionitul AV—17, deoarece acesta este cel mai răspîndit anionit de bază la CTE din U.R.S.S.

Eliminarea combinațiilor absorbante ale vanadiului se realizează cu ajutorul acidului sulfuric într-o concentrație de 8—10%. Depunerea vanadiului din soluțiile obținute se realizează prin metoda depunerii hidrolitice la un pH de 1,4—2. În aceste condiții gradul de depunere din soluții cu o concentrație de 20g/l este de 92,5—99,5%. Deshidratarea depunerii se realizează cu un filtru presă de tip FPAKM. Produsul se pune în pungi și se expediază beneficiarilor.

La prelucrarea cu mediu bazic a apelor de spălare, eliberate de combinațiile vanadiului, are loc depunerea hidratului de oxid de fier, depunere care se termină la un pH = 4,5. Prelucrarea lichidului rămas cu acid sulfuric sau cu acid clorhidric permite să se obțină o soluție care poate fi utilizată ca coagulant.

Creșterea în continuare a pH în soluție pînă la valoarea de 9,5 permite depunerea hidraților de oxizi de cupru și nichel. În caz de necesitate, separarea acestor două elemente se poate realiza utilizînd anioniți selectivi (ca, de exemplu HKA—1 pentru absorbția cuprului la un pH = 5).

În scopul prevenirii pătrunderii unor substanțe nocive se instalează un filtru cationic (ca barieră) încărcat cu cărbune sulfatat.

Rezultatele verificărilor de laborator ale schemei au demonstrat eficiența ridicată a acesteia. Conținutul combinațiilor vanadiului în apele de spălare după operația de tratare cu anioni scade de la 360 la 6 mg/l, iar după depunerile la un pH = 10, vanadiul dispare complet. La această valoare a pH dispar din soluție și hidrații de fier și cupru. Conținutul de nichel, de 70 mg/l, se micșorează la 0,3 mg/l, la un pH = =10, iar după tratarea cu bariera de cationi — 0,02 mg/l.

Tehnologia propusă permite eliminarea practic totală a substanțelor toxice din apele de spălare și obținerea unor produse comercializabile. Schema poate fi utilizată și pentru depunerile de cenușă captate în cicloane și electrofiltre. În acest caz este necesar să se realizeze suplimentar operații de tratare a depunerilor de cenușă cu o soluție acidă și cu una bazică și apoi de filtrare a acestora.

Folosirea acestei tehnologii permite creșterea cantităților de vanadiu, nichel și cupru comercializabile, concomitent cu îmbunătățirea situației ecologice în regiunile de amplasare a CTE pe păcură și gaze.

---

* Lista celor patru lucrări bibliografice menționate în text se află în revista *Promîșlennaia energhetica*, nr. 10/89.

Traducere și prelucrare
Ing. Mihai Nistor

CU PRIVIRE LA DURATA DE VIAȚĂ A ELEMENTELOR TURBINELOR ENERGETICE FABRICATE ÎN U.R.S.S. PENTRU CTE ȘI CET

Într-un articol semnat de Izrailov I.L. de la Vti „Dzerjinski" publicat în revista sovietică „*Energhetik*" nr. 11/1989 se arată că deși cea mai mare parte din echipamentele (turbinele) din sistemele U.R.S.S. și-au consumat resursa de proiect (100 mii ore), precum și limita maximă a resursei (170—220 mii ore), resursa lor reală este încă departe de a fi consumată, fapt care creează o nouă situație, care face oportună pregătirea ramurii energetice a U.R.S.S. pentru perfecționarea sistemului de asigurare a acestei durabilități (viabilități) sporite.

Prin conceptul de durabilitate sporită a elementelor și a grupelor de piese de același tip ,care se deosebesc printr-un complex de parametri inițiali și modificabili în procesul de exploatare, precum și a parcului de echipamente care cuprinde aceste elemente și grupe de piese, se înțelege proprietatea acestora de a-și menține funcționabilitatea atît în exploatare normală, cît și în situații speciale, prin neatingerea totalității stărilor limită, dar care pot prezenta unele deteriorări în condițiile sistemului existent de întreținere și reparații.

Conceptul de prelungire a duratei de viață este important, în primul rînd pentru elementele de înaltă temperatură ale turbinelor (rotoare și corpuri), care împreună cu numărul de solicitări ciclice determină duratele limită ale resursei (de viață) și duratele de exploatare între reparații pentru bocurile energetice.

Durabilitatea lor pentru o etapă foarte lungă de exploatare (50—60 ani) este determinată în principal de procese locale care au loc în zonele cele mai vulnerabile, ca de exemplu în concentratori, cavitatea centrală a rotorilor de înaltă și medie presiune și zonele fisurabile ale corpurilor, exploatate la temperaturi de peste 450°C. Această etapă se încheie prin apariția unor modificări microstructurale periculoase în volumul de bază al metalului (sub stratul de suprafață și dincolo de zonele locale), care provoacă înrăutățirea substanțială a rezistenței la fisurări și a capacității de rezistență la deformații a metalului.

Concepția și criteriile stării limită, au fost elaborate în cadrul unei cercetări a sistemului „model-calculator electronic — condiții de încărcare", dar acestea sînt aplicabile la un domeniu în cadrul căruia limitele de proiect ale duratei de viață sînt aproape de epuizare. Acestea sînt însă insuficiente pentru stabilirea duratei de viață restante într-un parc de echipamente a cărui resursă de proiect este depășită.

Legătura reciprocă între starea zonelor locale arătate și caracteristicile de rezistență ale echipamentelor aflate în exploatare permite doar o evaluare aproximativă a duratei de viață restante a acestora. Astfel, îndepărtarea periodică a stratului de suprafață de pe rotor distruge aproape în întregime urmele de pe metal privind „istoria" încărcării în timp a acestuia (șterge memoria) de pe metal.

O situație similară apare la prelucrarea totală sau parțială a zonei în care se pot produce fisuri, urmată de o încărcare prin sudură finală.

În continuare articolul descrie numeroase metode aplicate în U.R.S.S. și în alte țări la remedierea unor defecțiuni de acest gen la corpurile turbinelor, rotoare etc., pentru diferite tipuri de turbine printre care și K—200—130 LMZ, cu o durată de viață între 126—170 mii ore, pe exemple concrete.

Articolul prezintă un mare interes practic, atît pentru inginerii din exploatarea CTE și CET din țara noastră, cît și pentru DGPEE ca ajutor în acțiunile direcționate spre creșterea duratei de viață a turbinelor cu abur, în actualele condiții din SEN.

Articolul poate fi extrem de util și echipelor de diagnostic care ale ICEMENERG pentru stabilirea cît mai precisă a stării reale a echipamentelor (în special a celor furnizate de U.R.S.S.) în scopul trecerii la elaborarea programului de modernizare a centralelor termoelectrice cu epuizarea duratei de viață de proiect avansată, în scopul prelungirii la maximum posibil a duratelor de viață ale turbinelor, cu minimum de resurse.

Traducere și prelucrare

Ing. M. Nistor

UNELE PROBLEME ALE CREDITĂRII PE TERMEN SCURT A CNE AFLATE ÎN EXPLOATARE ÎN NOILE CONDIȚII ALE ECONOMIEI SOVIETICE

În revista „*Elektriceskie stanții*" nr. 6/1989 s-a publicat un articol cu titlul de mai sus (autori : Pâsîko și Balakovskaia), din care extragem unele idei principale.

Mecanismul de creditare bancară trebuie să stimuleze în mod activ crearea condițiilor necesare dezvoltării cu succes a producției. Totuși, actualul sistem de credite nu poate fi utilizat în energetica nucleară fără corecțiile necesare privind particularitățile ramurii. Printre acestea cea mai importantă particularitate o constituie neuniformitatea rotirii fondurilor circulante a unităților energetice.

Cea mai mare pondere în mijloacele circulante normate o au rezervele de combustibil. Dinamica nivelului acestora, poate fi total diferită de aceea a producției de energie electrice la unul și același bloc energetic. Specificul CNE constă în aceea că prețul combustibilului, încărcat în reactor, nu se poate concretiza imediat în costul energiei electrice, deoarece arderea lui are loc pe o durată lungă.

În zona activă se află o cantitate de combustibil cu mult mai mare decît cea consumată într-un anumit moment. Din acest motiv pentru CNE este caracteristic așa-numitul „regim tranzitoriu de funcționare", cînd are loc modificarea continuă în timp a conținutului izotopic al combustibilului, ca valoare medie pe reactor, a concentrației produselor de fisiune, precum și modificarea caracteristicilor economice (componenta de combustibil din costul energiei electrice). În plus, prin combustibil nuclear se înțelege nu numai materialul fisionabil, ci și piesele în care acesta este prevăzut (casete, canale tehnologice etc.).

Aceste construcții nu se consumă, dar se degradează în procesul de exploatare a reactorului. Această particularitate conferă combustibilului nuclear caracterul de fonduri fixe productibile.

Toate cele de mai sus atestă imposibilitatea folosirii recomandărilor prin care se determină „restanțele" planificate ale mijloacelor circulante normate, conținute în „regulile de creditare a rezervelor de materiale și a cheltuielilor de producție".

În anumite împrejurări este de asemenea imposibil să se respecte cerința conținută în aceste „Reguli" privind devansarea obligatorie a ritmurilor de creștere a producției față de ritmul de creștere a rezervelor de bunuri materiale și mărfuri.

La CNE termenele de livrare a combustibilului și prezentarea facturilor de încasare au o deosebită influență asupra mijloacelor circulante normate. Calculul „restanțelor" planificate trimestrial nu reflectă situația (dinamica) reală a rezervelor de combustibil, de unde rezultă necesitatea calculării lunare a necesarului de credite pentru întreprinderile energetice, fapt permis de „Reguli". Ar fi logic să se prevadă posibilitatea calculării creditelor normate chiar și în cursul

unei luni, dar acest lucru este complicat. În acest context este de preferat acordarea de către bănci, a creditelor pe durată limitată, pînă la 1 lună.

Se mai pune şi problema definirii dimensiunilor resurselor de creditare necesare finanţării întreprinderii în cazul opririlor neplanificate, determinate în mod obiectiv de caracterul probabilistic al producţiei energetice.

Aceasta este o speranţă matematică a unei mărimi aleatoare şi anume a duratei de restabilire a capacităţii de funcţionare a obiectivului sub forma:

$$Tr = \int_{0}^{\infty} [1 - Pv(t)]\, dt,$$

unde: $Pv(t) = Fr(t)$ — probabilitatea că durata de restabilire nu va depăşi durata prestabilită t; $Fv(t)$ — funcţia de distribuţie a mărimii aleatoare a duratei de restabilire, după avarie.

Evaluarea mărimii Tv se poate face fie în mod empiric, fie prin expertiză, prin apelarea la experienţă şi la date statistice.

Concluziile articolului sînt următoarele:

1. Calculul mijloacelor circulante planificate pentru energetica nucleară trebuie să se facă după o metodă specifică, care să ţină seama de specificul proceselor nucleare.

2. Este economic fundamentat să se crediteze peste necesităţile de plan de creditare creşterea relativă a „restanţelor" mijloacelor normate, condiţionate de economia de combustibil la îmbunătăţirea regimurilor de utilizare a acestuia.

3. Este indicat să se prevadă posibilitatea de creditare a CNE pentru cheltuielile legate de creşterea consumurilor pe parcursul unui an, peste încasările din diferite perioade, care se pot acoperi, prin surplusul de venituri faţă de cheltuieli în alte perioade ale anului.

4. La creditarea rezervelor totale şi a cheltuielilor de producţie este de recomandat acordarea pe scară largă a împrumuturilor pe baza documentelor de calcul, conform datelor rezultate de la serviciile financiare ale întreprinderilor.

5. Este oportun să se prevadă o rezervă de mijloace de creditare pentru finanţarea întreprinderilor energetice în perioadele de opriri neplanificate ale blocurilor energetice, legate de caracterul probabilistic obiectiv al funcţionării CNE.

Prelucrare şi traducere

Ing. M. Nistor

COLABORĂRI ALE FRANŢEI CU U.R.S.S. ŞI CU CEHOSLOVACIA ÎN DOMENIUL SECURITĂŢII NUCLEARE

Agenţia franceză pentru energie nucleară, Le Commissarist a l'Energie Atomique, CEA, a semnat o înţelegere cu comisia sovietică pentru securitate nucleară.

Francois Cogne din partea CEA şi Pierre Tanguy de la EdF, experţi în acest domeniu, s-au întîlnit recent cu reprezentanţii organizaţiilor de cercetare din Uniunea Sovietică, directorii Academiei de Ştiinţe şi ai centralelor nucleare. Înţelegerea va combina expertiza sovietică în tehnicile de decontaminare dobîndită în urma accidentelor de la Cernobîl şi Kychtym cu informaţiile franceze din domeniul termohidraulicii şi a politicilor pentru accidente.

CEA caută, de asemenea, legături mai strînse cu parteneri din Cehoslovacia. Autorităţile franceze şi cele ce vor conveni asupra programelor privind securitatea centralelor nucleare, reprocesarea combustibilului nuclear, îmbătrînirea componentelor reactorului, stocarea reziduurilor nucleare şi perfecţionarea în domeniu.

(Din: Modern Power Systems, vol. 10, nr. 5, mai, 1990, p. 7)

MATERIALIZAREA PROIECTULUI DE OBŢINERE A PETROLULUI DIN CĂRBUNE

British Coal a anunţat că AMOCO Corp, compania chimică şi petrolieră din Chicago se alătură proiectului de 65,8 milioane dolari de la Point of Syr, Cluryd, Ţara Velşilor de Nord privind tehnologia de lichefiere a cărbunelui.

Centrala pilot de obţinere a petrolului din cărbune, care este supusă verificărilor de recepţie va transforma 2,5 tone de cărbune în combustibili, în petrol, în motorină şi alţi combustibili necesari în transport. Funcţia centralei pilot este de a evalua potenţialul tehnic şi comercial al procesului de extracţie a solventului lichid de la British Coal.

Proiectul primeşte deja ajutoare financiare de la Comunitatea Economică Europeană.

Compania petrolieră doreşte să evalueze viitoarea utilizare a cărbunelui şi a lichidelor din cărbune în activităţi de rafinare a ţiţeiului. Înţelegerea îi dă lui AMOCO dreptul de a mări participarea lor în viitor şi pentru brevetarea tehnologiei.

(Din: Modern Power Systems, vol. 10, nr. 5, mai, 1990, p. 11)

STATUL VICTORIA DIN AUSTRALIA ÎNCURAJEAZĂ ENERGIA RECUPERABILĂ

Guvernul statului Victoria a recomandat o serie de măsuri, incluzînd dezvoltarea unei staţii eoliene de 10 ME ca parte integrantă a programului statal de realizare a reducerii cu 20% a emisiilor de bioxid de carbon.

Recomandările sînt conţinute în raportul guvernului cu privire la energia regenerabilă şi la conservarea energiei. Constatarea sa fundamentală este că statul trebuie să facă o mişcare importantă spre energia regenerabilă în perioada 1990—2000. Dacă se realizează obiectivele propuse în Green Paper, Victoria ar produce de două ori mai multă electricitate din sursele noi de energie regenerabilă decît se obţine de la Soroy Mountains Aydro Electricé, potrivit opiniei Ministerului pentru Industrie, Tehnologie şi Resurse.

S-a alocat aproximativ 1 milion dolari pentru iniţiativele noi, ceea ce include dezvoltarea unei staţii eoliene de 10 MW cuprinzînd aproape 35 turbine pe coasta East Gippsland. Asta este consecinţa succesului obţinut cu turbina eoliană de 60 kW de lîngă Geelong.

Guvernul a anunţat, de asemenea, că va introduce o legislaţie în următoarea sesiune a Parlamentului pentru stabilirea Comisiei pentru Energia Reînnoibilă. Aceasta va înlocui Consiliul Statului Victoria pentru Energia Solară. Noul organism va avea un buget de 3 milioane dolari pe an.

(Din: Modern Power Systems, vol. 10, nr. 5, mai, 1990, p. 13)

REORGANIZAREA FUNDAMENTALĂ A ADMINISTRĂRII ECONOMICO-TEHNICE A SISTEMULUI ELECTROENERGETIC AL ANGLIEI

Structurile sistemelor electroenergetice ale Marii Britanii

Această țară dispune de trei sisteme : al Angliei, cel mai important, al Scoției și al Irlandei de Nord.

Sistemul Angliei cuprinde 74 centrale electrice, cu o putere instalată totală de circa 54000 MW, o rețea de transport în lungime de circa 14560 km și o producție (1987/88) de 228 TWh/an. La puterea instalată participarea cea mai mare o au centralele termoelectrice pe cărbuni (circa 31000 MW), cărora le urmează centralele : pe păcură (circa 8500 MW), nuclearoelectrice (10 — circa 5000 MW), pe cărbune/păcură și pe păcură/gaze (circa 5000 MW), cu turbine cu gaze (cca. 2500 MW), hidroelectrice (100 MW), hidroelectrice cu acumulare prin pompare (2 — circa 2000 MW). Energia electrică este produsă în principal în centrale termoelectrice pe combustibili fosili : 17 cu puteri de 1000 — 2200 MW și una de 3750 MW (Drax), cu grupuri de 500 și 600 MW. Rețeaua de transport cuprinde, în principal, linii de 400 kV (cca 10.000 km) ; acestora le urmează linii : de 275 kV (cca 4000 km), de 132 kV, de și sub 66 kV. Sistemul electroenergetic al Angliei este interconectat cu al Franței, în curent continuu la tensiunea de 280 kV, prin cabluri, între Sellindge și Sangatte, pe un traseu de 126 km, cea mai mare parte submarin.

Scoția are propriul său sistem electroenergetic exploatat de două întreprinderi : South of Scotland Electricity Board și North of Scotland Electricity Board cu o putere instalată în centrale electrice de cca 9500 MW, în parte nucleară și hidro. Sistemul scoțian este interconectat cu al Angliei.

Irlanda de nord are și ea propriul sistem cu o putere instalată de 1800 MW.

Rețelele de transport electric ale Scoției și Irlandei sînt din linii cu tensiuni de 275 kV, 132 sau 110 kV.

Insulele din jurul Marei Britanii sînt alimentate din centrale electrice locale.

Reorganizarea alimentării cu energie electrică a Angliei

Sistemul Electroenergetic al Angliei, prezentat în cele precedente, a fost exploatat și administrat pînă în ultimul timp de întreprinderea de stat CEGB—Central Electricity Generating Board.

În scopul asigurării dezvoltării viitoare a alimentării cu energie electrică a Angliei, în condiții tehnice și economice superioare, s-a decis, pe baza adoptării unor legi, reorganizarea CEGB prin divizarea în două companii :

— National Power Company — NPC, care a preluat 70 % din capacitatea totală de producere a energiei electrice, inclusiv totalitatea centralelor nuclearoelectrice, și Power Gen. care a preluat restul de 30 % ;

— sistemul de transport a energiei electrice la 400 kV (Supergrid) a trecut în exploatarea unei noi companii The National Grid Company NGC. Aceasta, pe lîngă asigurarea transportului energiei electrice, mai deține și cele două centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompare din Wales, Dinorwig și Festiniog și are responsabilitatea interconectării cu Scoția și Franța.

Intreprinderile de distribuție — cele 12 Area Boards — se transformă în Public Electricity Suppliers PES, avînd obligația să asigure alimentarea cu energie electrică ale unor anumite regiuni.

Formele organizatorice ale întreprinderilor nou constituite sînt cu totul diferite de cele anterioare : sînt bazate pe independența de acțiune, cu responsabilitate crescută, urmărindu-se autofinanțarea și eficiența sporită.

Astfel cele două noi întreprinderi producătoare de energie electrică NPC și PG se vor găsi în condiții de concurență față de oferta de energie electrică din Scoția și mai ales din Franța, cu preț mai redus cu 25 % față de prețul de cost al producției interne actuale a Angliei.

Prin înlocuirea CEGB cu două companii s-a renunțat la concentrarea producției energiei electrice într-o singură întreprindere și ca urmare întreprinderile distribuitoare își vor putea procura energia electrică de la aceea care oferă condițiile cele mai avantajoase.

Alimentarea consumatorilor cu energie electrică are și ea două soluții : prin PES sau direct din NGC (pentru cantități mari). Astfel s-a introdus posibilitatea alegerii.

Reorganizarea legiferată s-a impus datorită următoarelor condiții în care se găsește alimentarea cu energie electrică a Angliei : creșterea anuală a consumului cu 2,5 %, o mare parte a centralelor electrice învechite, necesitatea instalării pînă în anul 2000 a 15000 MWe, imperativul de-a se lua măsuri drastice de protecție a mediului (spre a se evita efectul de seră și ploile acide, a se reduce SO_2 și alte forme de poluare).

Din programul de dezvoltare

Concomitent cu reorganizarea s-au elaborat programe de dezvoltare privind : energia nucleară, energia eoliană, termoficarea, valorificarea deșeurilor urbane și protecția mediului.

Energia nuclearoelectrică este produsă în prezent în Anglia în centrale cu reactoare MAGNOX și AGR. S-a început construirea unei centrale cu reactor PWR, cu caracter demonstrativ, în vederea stabilirii programului nuclear de viitor.

Concomitent se continuă cercetări începute mai de mult și pentru alte filiere.

Pentru soluționarea problemei deșeurilor nucleare se extind instalațiile existente de la Sellafield, care au permis reciclarea în mare măsură a uraniului, ceea ce a redus importul.

Dezvoltarea energeticii nucleare este o necesitate deosebită spre a reduce prețul de cost al energiei electrice și a micșora efectele poluante ale centralelor pe cărbuni.

Dintre energiile noi și reînoibile în atenție este energia eoliană, amplasamente favorabile fiind stabilite pe coaste. Se consideră că această sursă va contribui în anul 2025 cu 30 TWh/an, potențialul total fiind estimat la 200 TWh/an.

Adoptarea termoficării va reveni companiei Power Gen și companiilor distribuitoare.

Dintre cele 35 centrale de ardere a deșeurilor urbane cinci oferă condiții favorabile pentru termoficare.

În paralel cu acțiunile menționate au intervenit și reorganizări în industria electrotehnică, dintre care cea mai importantă este colaborarea stabilită între General Electric Company GEC și Alsthom, din Franța.

(După : Modern Power Systems, Supplement June 1989)

Ing. PAUL CARTIANU

În cadrul schimburilor de reviste, la redacția noastră s-a primit numărul 1 (ian.-febr.) pe 1990 al revistei franceze de iluminat Lux.

În acest număr este publicată în original o scrisoare adresată de către Comitetul Național Român pentru Iluminat (CNRI) redacției revistei Lux, însoțită de un apel la firmele și companiile de surse și corpuri de iluminat, la institutele de învățămînt superior de iluminat, de a ajuta și colabora cu CNRI, transmițîndu-i informații, prospecte etc.

Apelul făcut la revista Lux a avut rezultate și pe adresa CNRI-ul au început să sosească din toată Franța prospecte, materiale de informare în domeniu, propuneri de colaborare benevolă pe planul învățămîntului superior etc.

Referitor la conținutul revistei remarcăm multitudinea de articole de specialitate și excelentele condiții grafice de prezentare. Sumarul este structurat pe mai multe rubrici:

FORUM (referate prezentate la recentele congrese și întîlniri ale Comisiei Internaționale de Iluminat — CIE studii, normative, oameni și tehnică, lumina în arhitectură, istoria iluminatului, interviuri, saloane și congrese, luxorama (informații, poșta redacției — anunțuri — diverse).

Încercînd o selecție a cîtorva din articolele deosebit de interesante, ne reține atenția, din chiar primele rînduri, o succintă prezentare a cîtorva referate susținute la Conferința EUROPA — LUX 1989 ținută la Budapesta, la secțiile iluminat natural și lumina zilei și iluminat și securitate rutieră.

Remarcăm articolul lui E. și J. Krohman (R.F.G.) cu titlul *Însemnătatea luminii diurne în iluminat interior* în care se prezintă o metodă de calcul grafo-analitică pentru calculul iluminării în planul util (în funcție și de lumina, geometria interioarelor, factorii de reflexie ai pereților și de transmisie prin ferestre), permițînd optimizarea consumului de energie electrică pentru iluminat, păstrînd totuși un înalt confort vizual.

C. RENAUDE (Franța) prezintă în lucrarea *Iluminatul public și siguranța rutieră* factorii subiectivi de ordin vizual generatori de accidente: acuitatea vizuală, sensibilitatea la contrast, orbirea fiziologică, precum și căile de ameliorare. Statisticile arătau că pentru un trafic nocturn de patru ori mai redus decît ziua, numărul accidentelor mortale era la fel de mare ca cel înregistrat ziua. În regiunea Paris, datorită renovării iluminatului public, acest procentaj a scăzut cu 20%.

Sînt prezentate, de asemenea, pe scurt și alte lucrări susținute la aceeași manifestare, ca:

— Un nou concept-normarea climatului luminos, de dr. Richard Kittler (Cehoslovacia).

— Proiect de iluminat natural și măsurarea luminanțelor boltei cerești, de prof. A. F. G. Rutten (Olanda)

— Noi modele matematice pentru calculul factorului de lumină de zi într-un punct, pentru cer acoperit CIE și pentru cer senin, de prof. L. Di. Fraia și R. Scognamilis (Italia)

— Analiza tehnicii vitrării pentru dezvoltarea utilizării luminii naturale, de N. C. Ruch și T. Dinh (Australia)

— Aspecte și strategii ale iluminatului natural și artificial, de M. Perraudeau și Pierrette Chauvel (Franța)

— Facultatea vizuală și capacitatea de reacție a șoferilor noaptea, de M. Echert, U. Carrara și H. Romessen (R.D.G.)

— Spectrul de acțiune al razelor periculoase pentru sănătate, de P. Zwick și H. Kasse (R.F.G.)

— Presbitismul bătrîneții, iluminatul și corecția optică, de P. Methling (R.D.G.)

— Economie în mediul industrial și sensibilitatea la contrast, de Gh. Corba, J. P. Menu și G. Berdriel (Franța)

— Standardizarea ungară în domeniul iluminatului, de M. Poppe (Ungaria)

— Evoluția internațională a iluminatului în sectorul căilor ferate, de T. Deri și A. Nemeth-Vidowsky (Ungaria)

În rubrica NORMATIVE revista prezintă Asociația Franceză pentru Asigurarea Calității (AFAQ). Această asociație al cărui scop este elaborarea unor certificate de calitate pentru construcții, instalații, utilaje, produse electrice și electronice, a apărut relativ recent (1988) din nevoia de a elabora și a centraliza o serie de criterii, unice pe întreaga economie franceză. Funcțiile sale sînt de a evalua și certifica, conform exigențelor internaționale, de a supraveghea evoluția ulterioară a investițiilor sau produselor, precum și de a prelua spre rezolvare ulterioarele litigii în privința calității. Practic, orice întreprinzător francez particular sau de stat care dorește ca produsele sale să capete acest gir al calității (cu recunoaștere internațională) apelează la AFAQ care, în urma unor controale și investigații, emite certificatul de calitate.

Pentru cei interesați adresa AFAQ este: TOUR EUROPE CEDEX 7; 92049 PARIS LA DEFENSE, FRANCE

La rubrica STUDII, lucrarea distinsului și cunoscutului prof. Marc la Troison (Franța) prezintă o nouă considerație a problemei ce-l pasionează de 5 ani: ,,claritatea vizuală'' (denumită de către autor ,,claritate ambientală'') prezentată în urma unor experiențe și calcule ca un fenomen pur subiectiv, rezultat al unei senzații vizuale la acțiunea luminii galbene.

Instalația de iluminat a centurii rutiere a orașului Amiens este prezentată deosebit de atrăgător, atît ca soluție, cît și ca realizare efectivă în rubrica ,,OAMENI ȘI TEHNICĂ''.

La rubrica ,,LUMINA ȘI ARHITECTURA'' cititorii sînt informați asupra iluminatului de siguranță al barajului Hautre-Sure (Luxemburg). De remarcat că deși barajul, construit în 1957, are o foarte mare importanță economică și strategică nu a fost prevăzut cu o instalație de iluminat de siguranță decît în urma a mai multor sabotaje și atentate cu bombe.

Rubrica ISTORIE a revistei invită la o plimbare de-a lungul veacurilor prin Paris — orașul lumină. Astfel, istoria iluminatului public începe în 1318 cu marele felinar din Turnul Nelse, continuă cu edictul asupra iluminatului intersecțiilor de la 1667 cu introducerea gazului lampant în 1817, cu iluminatul electric cu arc voltaic în 1878 și apoi în epoca modernă; 1889 — becul cu incandescență, 1947 — tubul fluorescent, 1955 — lampa cu vapori de mercur de înaltă presiune, 1968 — lampa cu vapori de sodiu de înaltă presiune.

În rubrica INTERVIURI, Francais Jousse și Louis Clair prezintă ,,luminile'' parcului la Villete. Zonă a științei și industriei, veritabil oraș al culturii, La Villete este, de asemenea, un parc urban, unde lumina și arhitectura s-au întîlnit, unde arhitecții și specialiștii în iluminat și-au conjugat talentul pentru a avea un ambient, reprezentînd o nouă formă de artă (a opta). În acest sens s-au căutat și s-au găsit soluții pentru un iluminat public corespunzător fără ca sistemul să ,,strice'' linia arhitecturală de avangardă a lui Philippe Starck. Se remarcă astfel stîlpii cilindrici din ,,dural'' echipați cu două zone de surse de lumină, una superioară, la vîrf, iar alta intermediară, între sol și vîrf, a cărei reglare de înălțime permite un excelent control atît al fluxului luminos, cît și al orientării sale.

Paginile finale ale revistei Lux sînt dedicate saloanelor și congreselor, informațiilor, noilor apariții, concursurilor pe probleme de iluminat și nu în ultimul rînd publicității pe această temă, de o calitate grafică și tehnică deosebită.

Asistent universitar ing. C. SUVĂGĂU

Institutul de Construcții, Facultatea de Instalații, Colectivul de Iluminat și Instalații Electrice

Constantin Dinculescu (1898 — 1990) La 15 septembrie 1990 a trecut în nefiinţă academicianul Constantin Dinculescu, personalitate marcantă a energeticii româneşti.

Născut la 23 noiembrie 1898 în oraşul Alexandria, ca fiu de învăţător, a urmat, în perioada 1909—1917, liceul din Tulcea, a fost un an student în matematici la facultatea de ştiinţe a Universităţii din Iaşi, pentru ca în toamna anului 1918 să intre în Şcoala Naţională de Poduri şi Şosele de la Bucureşti, transformată doi ani mai tîrziu în Şcoala Politehnică, pe care a absolvit-o în anul 1922, obţinînd diploma de inginer electromecanic cu menţiunea „foarte bine". În anii 1922—1923 şi-a îndeplinit serviciul militar în cadrul marinei militare.

Din fragedă tinereţe a năzuit şi s-a pregătit pentru meseria de inginer în specialitatea producerii şi distribuţiei energiei electrice; aceasta a devenit principala sa preocupare pentru întreaga viaţă, atît în activitatea profesională, cît şi în cea didactică şi ştiinţifică.

A lucrat timp de 30 de ani în producţia industrială, mai întîi la societăţile „Electrica" şi „Creditul pentru întreprinderi electrice", apoi la Centrala Industrială a Energiei Electrice, devenită Ministerul Energiei Electrice, parcurgînd toate treptele, de la inginer şef de secţie pînă la director tehnic, director general şi consilier.

La societatea „Electra" a activat pînă în anul 1931, cînd această societate trecînd sub conducere belgiană, el a optat pentru societatea românească „Creditul pentru întreprinderi electrice" din Bucureşti, care construia şi exploata instalaţiile energetice din diferite oraşe ale ţării — unde a funcţionat pînă în iunie 1948, cînd întreprinderea a fost naţionalizată.

În primii ani de activitate la societatea „Electrica" (1924—1925) inginerul Constantin Dinculescu s-a ocupat cu exploatarea centralei termoelectrice Cîmpina şi a primei linii de 60 kV din ţara noastră, linia Floreşti-Ploieşti-Bucureşti, pe stîlpi metalici, destinată a alimenta cu energie electrică oraşul Bucureşti din centralele electrice de pe Valea Prahovei, linie care marchează începuturile sistemului energetic naţional. A continuat apoi cu proiectarea altor linii de 25 kV şi 60 kV din regiune, dintre care linia de 60 kV Ploieşti-Urlaţi, transformată după război în linie de 110 kV.

În perioada cît a activat la societatea „Creditul pentru întreprinderi electrice" s-a ocupat de instalaţiile electrice aparţinînd acestei societăţi din localităţile Arad, Ploieşti, Slănic-Prahova, precum şi de prima noastră linie de cale ferată electrificată Arad-Podgoria.

În anii 1948—1950 Constantin Dinculescu a luat parte activă la lucrările grupului de specialişti de elaborare a planului de electrificare şi de valorificare a cursurilor de apă ale ţării, pentru anii 1951—1960. Bogata experienţă cîştigată în domeniul producerii şi distribuţiei energiei electrice în diversele regiuni ale ţării i-au permis să aprecieze just posibilităţile şi necesităţile energetice ale ţării pentru viitoarea perioadă de 10 ani şi să contribuie astfel la dezvoltarea bazei energetice a economiei naţionale.

În calitate de inginer şef şi director al Institutului de Studii şi Proiectări Energetice (1952—1953) a contribuit, prin participare directă, la munca de concepţie şi proiectare de institut, la realizarea principalelor obiective ale planului de electrificare. Astfel, a condus lucrările de proiectare a centralei termoelectrice de la Paroşeni, de 150 MW, fiind autorul ideii înlocuirii grupurilor turbogeneratoare de 25 MW, iniţial prevăzute pentru această centrală, cu grupuri de 50 MW, ceea ce s-a dovedit a fi o judicioasă măsură de echipare cu grupuri mari a sistemului electroenergetic în permanentă dezvoltare, precum şi a altor prevederi ale proiectului centralei, ca de exemplu amplasamentul turnurilor de răcire şi dispoziţia generală a centralei. De asemenea, la insistenţele lui s-a montat în centrala termoelectrică Fîntînele, iniţial prevăzută a cuprinde patru grupuri de cîte 25 MW, a unui al cincilea grup, de 50 MW, sporind astfel puterea instalată a acestei centrale la acea epocă, de la 100 la 150 MW. Se păstrează şi astăzi în memoria multora dintre colaboratorii săi de atunci munca uriaşă depusă în calitate de conducător al institutului, care în timpul zilei consta în dirijarea operativă a lucrărilor de proiectare în diferitele secţii, iar în timpul orelor de noapte — adesea pînă la 3—4 dimineaţa — în citirea, verificarea şi corectarea proiectelor, în grija sa continuă de a veghea ca acestea, ieşind din clădirea institutului, să se prezinte la nivelul cel mai înalt şi corespunzător posibil, atît din punctul de vedere al fondului, cît şi al formei. Prin împărtăşirea colaboratorilor a vastei sale experienţe, precum şi prin exemplul său de muncă perseverentă, de conştiinciozitate şi meticulozitate a reuşit să imprime în interiorul institutului un stil de muncă avansat, corespunzător problemelor multiple şi de înaltă răspundere pe care le avea.

În aprilie 1953, cînd Constantin Dinculescu a fost numit director general al Direcţiei Energiei Electrice din Ministerul Energiei Electrice, situaţia alimentării cu energie electrică a economiei naţionale era destul de precară şi critică: alimentarea consumatorilor era asigurată în principal din instalaţii vechi, existente la finele războiului, cu uzură fizică şi morală avansată, fără piese de schimb şi personal corespunzător pentru exploatare şi întreţinere. În eforturile şi grija pentru preîntîmpinarea sau rezolvarea numeroaselor avarii şi întreruperi de funcţionare a instalaţiilor energetice răspîndite pe întreaga suprafaţă a ţării, de asigurarea în cît mai bune condiţii de frecvenţă, tensiune şi continuitate a alimentării consumatorilor şi în primul rînd a celor industriali — activitatea zilnică a directorului general Constantin Dinculescu se extindea deseori practic pe 24 de ore.

Constantin Dinculescu a fost atras de timpuriu în activitatea didactică. Asistent suplinitor la catedra de electricitate şi electrotehnică de la Şcoala Politehnică din Bucureşti, începînd din octombrie 1926, asistent definitiv din anul 1933, în iunie 1940 este însărcinat cu predarea cursului de „Centrale electrice, transportul, distribuţia şi utilizarea energiei electrice". În anul 1942 este numit conferenţiar temporar, avînd sarcina de a ţine cursul de Aparataj electric. În noiembrie 1943 este profesor suplinitor la Şcoala Politehnică din Timişoara, iar în ianuarie 1944 profesor titular la această şcoală. Desfăşoară în continuare activitatea didactică şi în cadrul Politehnicii din Bucureşti, unde predă cursul de „Centrale electrice", în calitate de profesor suplinitor, apoi de profesor titular, din octombrie 1947 şi şef de catedră din anul 1948.

În perioada 1948-1950 a fost decan al Facultăţii de Electrotehnică şi Energetică. Părinte al actualei facultăţi de energetică, îi revine un merit esenţial la înfiinţarea, perfecţionarea şi modernizarea învăţămîntului superior energetic din ţara noastră. Din ianuarie 1954 şi pînă în octombrie 1968 a fost rector al Institutului Politehnic Bucureşti, cu excepţia a doi ani (1956—1957), cînd a funcţionat ca adjunct al ministrului învăţămîntului.

Profesor eminent, care a ştiut să îmbine în mod armonios aspectele teoretice cu aplicaţiile practice imediate, Constantin Dinculescu a contribuit direct la buna pregătire a zeci de promoţii de ingineri energeticieni din ţara noastră. Foştii lui studenţi nu pot uita cursurile extrem de clare, de înaltă ţinută, predate de profesorul Constantin Dinculescu, pasiunea, competenţa şi entuziasmul cu care vorbea despre perspectivele dezvoltării energeticii româneşti. Departe de a fi mulţumit numai cu prelegeri de la catedră, a fost animatorul realizării multor laboratoare, căutînd să dea un conţinut aplicativ, ingineresc, disciplinelor de specialitate.

Energia neobişnuită, calităţile deosebite de organizator s-au manifestat şi în cadrul activităţii sale ca rector. Principialitatea, corectitudinea deosebită, ataşamentul total faţă de obligaţiile profesionale au constituit dominante ale activităţii sale. Zi de zi, noapte de noapte, profesorul Constantin Dinculescu a căutat să facă tot ce i-a stat în putinţă pentru îmbunătăţirea procesului de învăţămînt, pentru crearea unor noi laboratoare, pentru sporirea prestigiului Politehnicii. A

luptat mult ca Politehnica să aibă un nou local, dotat cu laboratoare moderne. Munca asiduă, fără preget, n-a fost zadarnică. Mărturie acestor strădanii îndelungate stau laboratoarele Facultăţii de Energetică, precum şi întreg noul local al Institutului Politehnic — acest măreţ edificiu, locaş de învăţământ tehnic pentru generaţiile viitoare de studenţi, de înălţarea căruia şi-a legat pentru totdeauna numele.

Activitatea didactică a profesorului s-a împletit cu activitatea ştiinţifică. A fost printre primii ingineri din ţara noastră care a atras atenţia încă din anul 1943 asupra posibilităţilor de folosire a potenţialului energetic al Porţilor de Fier. Astfel, a elaborat şi publicat în „Buletinul Societăţii Politehnice din România" nr. 11—12 din 1943, în colaborare cu profesorul Grigore Vasilescu, studiul „Căderile de apă ale Dunării şi posibilităţile de folosire a energiei lor", studiu care a fost premiat de Societatea Politehnică din România. În calitate de membru al Consiliului tehnic al Dunării, al părţii române din Comisia româno-iugoslavă pentru avizarea proiectelor complexului hidroenergetic şi de navigaţie de la Porţile de Fier, Constantin Dinculescu a participat la tratativele pentru realizarea acestui obiectiv şi găsirea soluţiilor optime pentru problemele tehnice şi economice ridicate de rezolvarea ei.

În ceea ce priveşte electrificarea căii ferate Bucureşti-Cîmpina-Braşov, a participat în anul 1955 la decizia de abandonare a proiectului de utilizare a curentului continuu de 3 kV pentru această electrificare şi la adoptarea soluţiei cu curent alternativ monofazic cu o tensiune de 25 kV şi o frecvenţă de 50 Hz, soluţie realizată şi generalizată în prezent.

Pentru contribuţia deosebită la dezvoltarea ştiinţei tehnice româneşti Constantin Dinculescu a fost ales în 1952 membru corespondent al Academiei, iar în anul 1990 academician. Printr-o activitate ştiinţifică personală de mare valoare, prin orientarea şi îndrumarea cadrelor tinere din catedră şi a unui mare număr de doctoranzi, a creat o şcoală de cercetare în domeniul centralelor electrice, ale cărei preocupări se îndreaptă spre studierea problemelor teoretice şi practice strîns legate de dezvoltarea ştiinţei şi economiei româneşti, spre stabilirea soluţiilor optime de producere a energiei electrice şi căldurii, spre problemele tehnico-economice specifice centralelor electrice din ţara noastră.

Ca preşedinte al Comitetului Naţional al Conferinţei Mondiale a Energiei, membru al comisiei naţionale pentru UNESCO, preşedinte al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor, a reprezentat ţara la manifestări tehnice şi ştiinţifice internaţionale.

Constantin Dinculescu a fost şi a rămas pentru cei care l-au cunoscut un exemplu de pasiune pentru muncă, de corectitudine profesională, de slujire devotată a intereselor colectivităţii, a şcolii, a meseriei de inginer pe care a îndrăgit-o. Printr-o muncă fără preget a căutat să facă în toată viaţa sa mai mult, mai bine pentru propăşirea energeticii româneşti.

Prof. dr. ing. **Nicolae Dănilă**

Nicolae Gheorghiu (1908—1990). S-a născut în Bolgrad (Basarabia) şi a absolvit liceul în acest oraş. A urmat Politehnica din Timişoara, şi anume Facultatea de Electromecanică. După absolvire, în 1935, a fost angajat la Societatea Generală de Gaz şi Electricitate din Bucureşti, unde a contribuit în principal la realizarea reţelelor electrice extraurbane, de 15 kV.

Mai tîrziu, ca factor de conducere a adus o contribuţie esenţială la realizarea liniei electrice de 60 kV Bucureşti--Giurgiu (cu traversarea Dunării la Rusciuc), proiectată şi executată numai cu mijloace din ţară.

În decursul timpului a deţinut diverse funcţii de conducere : în intervalul 1948-1949 director al Centralei Industriale a Energiei Electrice, nou înfiinţată, ministru adjunct al energiei electrice în intervalele 1952—1956 şi 1957—1965, precum şi ministru în 1957 şi 1960. Din 1966 a îndeplinit pentru scurt timp funcţia de director general al Direcţiei de Metrologie, Standard şi Invenţii. În acest timp a participat la organizarea tuturor activităţilor aferente electrificării ţării. S-a preocupat în mod deosebit de dezvoltarea reţelelor electrice, îndrumînd direct elaborarea de către un grup de colaboratori ai lucrării în două volume „*Montarea reţelelor electrice de distribuţie*", apărută în anul 1949, care a constituit un îndreptar de bază pentru toţi cei care au lucrat în acest domeniu.

Pentru lucrarea „*Reţele electrice rurale*" i s-a decernat premiul „Traian Vuia" al Academiei Române.

A contribuit la introducerea folosirii stîlpilor de beton armat centrifugat şi în acest scop a participat direct la proiectarea primei maşini de centrifugat, realizare pentru care colectivului de lucru i s-a decernat Premiul de Stat pe anul 1954.

Nicolae Gheorghiu a desfăşurat şi o intensă activitate didactică în cadrul Institutului Politehnic Bucureşti. În anul 1948 a fost numit conferenţiar, iar în anul 1956 profesor de instalaţii electrice. În perioada 1971—1978 a fost şeful catedrei de Centrale şi Reţele Electrice din cadrul Facultăţii de Energetică. În această funcţie a coordonat şi realizat centrala termoelectrică laborator al catedrei, al cărui personal de exploatare a fost format în principal din cadre didactice şi studenţi. În calitate de profesor a fost conducător de teze de doctorat, iar după pensionare a fost profesor consultant.

Profesorul Nicolae Gheorghiu a publicat numeroase lucrări. Pe lîngă cele semnalate deja, mai menţionăm : *Aparate şi reţele electrice* (1971), *Echipamente electrice* (1981, în colaborare).

Redacţia

CUPRINS GENERALAL REVISTEI ENERGETICA PE ANUL 1990

I. ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

1. Emil Costin: Evoluţia sistemului de tarife pentru energia electrică în România în anii 1950 — 1990, nr. 5, p. 189—194
2. Nicolae Liciu: Modalităţi de analiză a energointensivităţii economiei naţionale, nr. 6—7, p. 241—245.

II. ENERGETICA ÎN UNITĂŢI ECONOMICE

1. Magdalea Cuciureanu, Jean Constantinescu, Mario Duma, Vasile Rugină, Monica Roşca, Călin Gibescu: Concepţia şi metodele de definire, analiză şi evidenţă unitară a consumurilor energetice aferente tehnologiilor din industrie, transporturi, construcţii şi agricultură, nr. 1, p. 4—7.
2. Vasile Rugină, Maria Apolzan, Marilena Măiereanu, Emil Costin: Aspecte privind calculul energiei necesare pentru producerea oţelului, nr. 2, p. 49—53.
3. Alexandru Florescu, Cristina Pavelescu, Mona Andrici: Recuperarea căldurii în gazele de ardere de la cuptoarele de topit sticlă din România, nr. 3—4, p. 97—99.
4. Aurel Gaba: Consideraţii asupra recuperării căldurii fizice a gazelor arse evacuate din cuptoarele adînci, nr. 3—4, p. 100—102.
5. Titus Doru Haţiegan: Optimizarea consumurilor de energie în întreprinderile miniere, nr. 6—7, p. 246—251.
6. Adrian Buta, Cornelia Ivaşcu, Liviu Milea: Analiza comportării consumatorilor de tip ,,extracţie petrol'' în condiţii de alimentare cu tensiune variabilă, nr. 6—7, p. 252—258.
7. Sava Porneală: Necesitatea utilizării transformatoarelor de căldură cu mai multe trepte, nr. 6—7, p. 258.
8. Vasile Duşa: Problema ameliorării factorului de putere în întreprinderile industriale, nr. 8—9, p. 337—340.
9. Mihaela Iordache: O metodă pentru estimarea comportării băilor de tratare a suprafeţelor metalice sub influenţa tensiunii reţelei electrice de alimentare, nr. 8—9, p. 340—345

III. DEZVOLTAREA SISTEMULUI ENERGETIC

1. Manfred Stein, Mircea Ciobanu, Christiana Bărbulescu: Consideraţii privind influenţa fiabilităţii întrerupătoarelor asupra performanţelor schemelor staţiilor de evacuare a puterii din centralele de mare putere, nr. 3—4, p. 103—106.
2. Mircea Eremia: Legăturile în curent continuu. Comparaţie tehnico—economică cu sistemele de transport în curent alternativ, nr. 3—4, p. 107—114.
3. Anca Popescu, Mircea Ciobanu, Doina Popovici, Gheorghe Vâlcereanu, Floarea Breazu: Sensibilitatea nivelurilor optime ale rezervei de avarie şi gradului de siguranţă ale unui sistem electroenergetic la variaţia parametrilor care le influenţează, nr. 5, p. 196—203.
4. Victor Iancovici: Criza energetică—Unele cauze principale şi cîteva condiţii pentru lichidarea ei, nr. 6—7, p. 264—270.
5. Manfred Stein, Christiana Bărbulescu, Adela Ciupuliga: Un model pentru calculul fiabilităţii în cazul rezervării pasive ,,în stoc'' (RS) a echipamentelor reparabile, nr. 6—7, p. 271—276.
6. Virgil Alexandrescu, Gheorghe Cârţină, Eugen Voinea, Romulus Sfichi: Calculul regimurilor permanente ale reţelelor de medie tensiune de interconexiune ale MHC—CHEMP, nr. 6—7, p. 276—280.

IV. CONDUCEREA ŞI AUTOMATICA SISTEMELOR ENERGETICE

1. Dan Teodosescu: Software modularizat pentru supravegherea proceselor energetice, nr. 1, p. 8—15.
2. Horia Mărieş: Stadiul actual şi tendinţe în introduceréa sistemelor numerice în echipamentele de protecţie din staţiile electrice, nr. 2, p. 54—61.
3. Eugen Potolea: Regimul permanent al maşiii sincrone cu circuitele magnetice saturate, nr. 3—4, p. 115—118.
4. Corneliu Velicescu: Modele propabilistice pentru aprecierea continuităţii în alimentarea cu energie electrică, nr. 3—4, p. 118—124.
5. Stelian Popescu: Estimarea corectă a sensibilităţii protecţiilor în zonele de rezervă, nr. 8—9, p. 346—349.
6. Mihai Moga: Reprezentarea motoarelor de inducţie prin caracteristici dinamice de putere, funcţie de tensiune şi frecvenţă, nr. 8—9, p. 349—355.
7. Haralambie Cristea: Frecvenţa—parametru de calitate al regimurilor sigure şi economice de funcţionare a SEN, nr. 8—9, p. 356—360.
8. Sebastian Ionescu: Model al maşinii sincrone pentru simularea regimurilor dinamice în sistemele electroenergetice de mari dimensiuni, nr. 8—9, p. 361—364.
9. Haralambie Cristea: Probe de performanţă şi identificarea modelului matematic SRAV la turbina K-200-130 CTE Iernut, nr. 10—12, p. 397—401.
10. Horia Mărieş: Compatibilitatea electromagnetică în cazul echipamentelor numerice, nr. 10—12, p. 401—407.

V. CENTRALE TERMOELECTRICE

1. Mircea Rădulescu, Teodor Popa: Modernizarea instalaţiei de măcinare şi ardere a lignitului la cazanul de 370 t/h din CET Işalniţa, nr. 1, p. 16—22.
2. Mario Duma: Probleme determinante ale viitorului termoenergeticii României, nr. 3—4, p. 125—130.
3. Nicolae Băran, Gheorghe Băran: Noi soluţii pentru instalaţiile de desprăfuire aferente staţiilor de concasare a cărbunelui din termocentrale, nr. 3—4, p. 131—134.
4. Ioan Carabogdan, Mihai Marius Voronca, Constantin Brătianu: Analiza numerică cu elemente finite a comportării în regim termic tranzitoriu a unui schimbător de căldură, nr. 3—4, p. 135—138.
5. Mihai Rusu, Constantin Sârbu, Dumitru Gârdan: CET Drobeta-Turnu-Severin — obiectiv major în programul energetic naţional, nr. 6—7, p. 281—288.
6. Ioana Ionel, Cornel Ungureanu, Andrei Gogu: Studii pe bază de derivatograme ale comportării mixtelor de huilă de la Petrila în procesul de aprindere şi ardere, nr. 6—7, p. 288—292.
7. Radu Răşcanu, Gabriel Romaşcu: Suporţi amortizori de şoc pentru conducte în centrale electrice, nr. 6—7, p. 292—295.
8. Magdalena Matei, Cristina Dicu, Lucian Matei, Pătra Dordea, Aurora Creţu, Alina Manolescu, Mihai Precup: Influenţa factorilor care depind de caracteristicile combustibilului asupra intensităţii procesului de eroziune a suprafeţelor de transfer termic ale cazanului de abur, nr. 8—9, p. 365—370.
9. Jeana Monica Sava: Metodologia de determinare a debitului de abur intrat în turbinele de condensaţie, în regimuri nenominale. Mărimi ce caracterizează destinderea în turbină, nr. 10—12, p. 408—411.
10. Ion Nicolau: Ventile de oprire pentru o turbină cu abur, nr. 10—12, p. 411—416.
11. Dan Golici, Gabriel Negreanu: Influenţa înrăutăţirii randamentului intern asupra consumului specific de căldură, la turbine de tip DSL (VPT) — 50, nr. 10 — 12, p. 416—420.
12. Mircea Rădulescu, Valeriu Banu, Ana Niculescu: Îmbunătăţirea instalaţiei de separare la tamburul unui cazan de 210 t h, nr. 10—12, p. 420—424.

VI. CENTRALE HIDROELECTRICE

1. Valentin Georgian, Petru Dan Lazăr: Valorificarea micropotențialului hidroenergetic în contextul crizei energetice mondiale, nr. 1, p. 23—26.
2. Gheorghe Olaru, Petru Dan Lazăr: Contribuții privind implementarea digurilor energetice în largul Mării Negre, nr. 3—4, p. 139—142.
3. Aurel Stănucă, Constantin Tarhon, Dan Andrei: Proiectări în hidroenergetică în lumina cerințelor actuale ale economiei naționale, nr. 3—4, p. 142—147.

VIII. REȚELE ELECTRICE

1. Traian-G. Ionescu, Eugeniu Pavel: Considerații privind normarea limitelor regimului dezechilibrat în sistemele electroenergetice, nr. 1, p. 27—33.
2. Hermina Albert: Reducerea pierderilor de putere și energie electrică în transformatoare — o problemă deosebit de actuală, nr. 2, p. 62—66.
3. Ilie Popescu, Dumitru Bărbulescu, Iustina Bărbulescu, Nicolae Suflețel: Determinarea impedanței și circulației curenților armonici într-o rețea funcționînd în regim deformant, nr. 2, p. 67—72.
4. Emanoil Cocoș: Controlul energetic al regimului deformant, nr. 2, p. 72—76.
5. Ioan Felea: Evaluarea pierderilor de putere și energie în condițiile funcționării transformatoarelor la abateri ale frecvenței și tensiunii efective de alimentare față de valorile nominale, nr. 3—4, p. 148—156.
6. Gheorghe Nicolau: Model matematic, algoritm și program de calcul mecanic al conductoarelor liniilor electrice aeriene, nr. 5, p. 204—210.
7. Ioan Felea, Teodor Maghiar, Dan Carțiș, Florin Demian, Nicolae Drăghici: Aplicarea contactoarelor statice în cadrul sistemelor de compensare, a factorului de putere cu condensatoare, nr. 5, p. 210—217.
8. Laurențiu Miron Goia, Constantin Pantazi: Noi dispozitive de electrosecuritate realizate în ICEMENERG, nr. 5, p. 218—222.
9. Florin Munteanu, Dumitru Ivas, Laurian Preda, Petru Leonte, Emilian Furnică: Posibilități de diagnosticare a defectelor la instalațiile de înaltă tensiune, nr. 6—7, p. 296—300.
10. Traian—G. Ionescu, Carmen Golovanov, Paul Manolescu, Roxana Oprea: Metode de determinare a coeficientului de nesimetrie inversă de tensiune, nr. 8—9, p. 371—376.
11. Mircea Gușă, Constantin Asaftei, Nicolae Gavrilaș, Marcel Istrate: Contribuții privind semnalizarea locală a scurtcircuitelor în rețelele electrice aeriene de medie tensiune, nr. 10—12, p. 425—429.

X. SURSE NOI

1. Grigore Pop, Gavril Muscă, Cornelia Ciobanu, Aurel Milea, Cristian Teodorescu: Gazul de sinteză — sursă de materii prime și energie, nr. 2, p. 77—80.
2. Stoian Petrescu, Monica Costea, Roxana Iordache: Comparație între ciclul Brayton realizat cu mașini cu piston și ciclul ITG cu ardere la volum constant în vederea folosirii în energetica solară, nr. 5, p. 223—228.
3. Ioan Carp: Valorificarea surselor de căldură cu temperaturi scăzute în instalații cu absorbție amoniac—apă, nr. 10—12, p. 430—432.
4. Corneliu Ungureanu, Ioana Ionel, Paul Dan Oprișa: Tehnologii moderne pentru frînarea formării de NO_x în procesele de ardere din focarele cazanelor de abur, nr. 10—12, p. 433—439.
5. Stoian Petrescu, Roxana Iordache: Optimizarea termică și dimensinoală a recuperatorului de radiație solară tip cavitație cilindrică pe baza randamentului de intercepție și a diferenței finite de temperatură între receptor și fluidul de lucru, nr. 10—12, p. 440—446.

XI. CHIMIA ÎN ENERGETICĂ

1. Nicolae Nină, Mihai Chirica: Regenerarea în dublu flux a VIONIT-ului CS_3 aplicată în ape cu salinitate ridicată nr. 1, p. 34—37.
2. Valentina Bălan: Introducerea modelelor matematice în vederea depistării cauzelor și reducerii diferenței valorilor puterii calorifice între probele recepție și consum cazan în termocentrală, nr. 2, p. 81—86.
3. Mihail Ceclan, Rodica Ceclan, Mircea Damian, Ion Stiger: Programe de calcul pentru dimensionarea și verificarea instalației de tratare a apei de adaos pentru cazane de abur din centrale termice și termoelectrice, nr. 2, p. 87—90.
4. George Chercea, Radu Băcanu: Formul statistice pentru determinarea compoziției materialelor volatile degajate la încălzirea cărbunilor, nr. 3—4, p. 157—160.
5. Lucian Negulescu: Considerații privind chimismul coroziunii fisurante sub tensiune la cazanele de abur, nr. 6—7, p. 309—316.
6. Corneliu Ungureanu, Ioana Ionel: Asupra tehnologiei de ardere a păcurii grele, nr. 8—9, p. 377—381.
7. Lucian Negulescu: Considerații privind oportunitatea vaporizării în trepte la cazanele de abur din centralele electrice de termoficare, nr. 10—12, p. 447—454.

XIII. ORGANIZAREA PRODUCȚIEI ȘI A MUNCII

1. Mircea Eremia, Emil Scarlat: Aspecte privind proiectarea sistemelor expert pentru conducerea activității dintr-o stație electrică, nr. 6—7, p. 316—322.

XV. ISTORIA ELECTRIFICĂRII

1. Eugeniu Pavel: Jean Baptiste Fourier și seriile Fourier, nr. 5, p. 229—231.
2. Paul Cartianu: 50 de ani de la descoperirea fisiunii nucleare (1939—1989), nr. 5, p. 231—223.
3. Paul Cartianu: La 50 de ani de la stingerea din viață a lui Arthur-Erwin Kennelly, nr. 6—7, p. 323.
4. Paul Cartianu: Un electrician român a cărui activitate a început în secolul trecut (Laurențiu Teodoreanu), nr. 6—7, p. 324.
5. Caius Iacob: 200 de ani de la nașterea lui Augustin-Louis Cauchy, nr. 8—9, p. 382—383
6. Paul Cartianu: Hans Thiess — o carieră îndelungată și plină de realizări, nr. 8—9, p. 384.
7. Constantin Ostap: 90 de ani de la darea în funcțiune a tramvaiului electric la Iași, nr. 10—12, p. 455
8. Paul Cartianu: Organizarea activităților economice publice în trecut, cu privire spre viitor, nr. 10 — 12, p. 456—458.

NOUTĂȚI

XVI.I. Idei noi

1. Constantin I. Mocanu: La 100 de ani de la elaborarea de către Heinrich Rudolf Hertz a electrodinamicii nerelativiste a corpurilor în mișcare, nr. 3—4, p. 161—176.
2. Paul Cartianu: Evoluția conceptului de spațiu—vid în fizică, nr. 3—4, p. 176—177.

XVI.II. Din energetica mondială: nr. 1, p. 7,33,39; nr. 2, p. 53, 91 — 92; nr. 3 — 4, p. 147, 150, 180 — 184; nr. 5, p. 203, 234 — 236; nr. 8 — 9, p. 364; nr. 10 — 12, p. 424, 459—462.

XVI.III. De la Comitetul Național Român al CIGRE: nr. 1, p. 42; nr. 6—7, p. 263, nr. 8—9, p. 390—392.

XVI.IV. De la Comitetul Național Român pentru Iluminat: nr. 8—9,, p. 387—389.

XVI.V. Recenzii: nr. 1, p. 43—44; nr. 2, p. 93—94; nr. 6—7, p. 332; nr. 10—12, p. 463.

XVI.VI. De personis: nr. 1, p. 45; nr. 5, p. 228 — 237; nr. 8—9 p. 385—386; nr. 10—12, p. 464.

XVI.VII. Cronică: nr. 1, p. 41; nr. 2, p. 61.

XVI.VIII. Din partea Asociației Române pentru Energia Vîntului: nr. 6—7, p. 308.

INDEX ALFABETIC AL AUTORILOR ARTICOLELOR APĂRUTE ÎN REVISTA ENERGETICA ÎN ANUL 1990

Albert Hermina, nr. 2, p. 62 (VIII, 2)
Alexandrescu Virgil, nr. 6—7, p. 276 (III, 6)
Andrei Dan, nr. 3—4, p. 142 (VI, 3)
Andrici Mona, nr. 3—4, p. 97 (II, 3)
Apolzan Maria, nr. 2, p. 49 (II, 2)
Asaftei Constantin, nr. 10—12, p. 425 (VIII, 11)

Banu Valeriu, nr. 10—12, p. 420 (V, 12)
Băcanu Radu, nr. 3—4, p. 157 (XI, 4)
Bălan Valentina, nr. 2, p. 81 (XI, 2)
Băran Gheorghe, nr. 3—4, p. 131 (V, 3)
Băran Nicolae, nr. 3—4, p. 131 (V, 3)
Bărbulescu Dumitru, nr. 2, p. 67 (VIII, 3)
Bărbulescu Iustina, nr. 2, p. 67 (VIII, 3)
Bărbulescu Christiana, nr. 3—4, p. 103 (III, 1), nr. 6—7, p. 271 (III, 5)
Bianchi Cornel, nr. 8—9, p. 387 (XVI,IV)
Brătianu Constantin, nr. 3—4, p. 135 (V, 4)
Breazu Floarea, nr. 5, p. 196 (III, 3)
Buda Cezar, nr. 8—9, p. 385 (XVI,VI)
Buta Adrian, nr. 6—7, p. 252 (II, 6)

Carabogdan Ioan, nr. 3—4, p. 135 (V, 4)
Carp Ioan, nr. 10—12, p. 430 (X, 4)
Cartianu Paul, nr. 3—4, p. 176 (XVI.I,2), nr. 5, p. 231 XV,2), nr. 6—7, p. 323 (XV, 3), p. 324 (XV, 4), nr. 8—9, p. 384 (XVI, 6), nr. 10—12, p. 456 (XV, 8)
Carţiş Dan, nr. 5, p. 210 (VIII, 7)
Cârţină Gheorghe, nr. 6—7, p. 276 (III, 6)
Ceclan Mihail, nr. 2, p. 87 (XI, 3)
Ceclan Rodica, nr. 2, p. 87 (XI, 3)
Chercea George, nr. 3—4, p. 157 (XI, 4)
Chirica Mihai, nr. 1, p. 34 (XI, 1)
Ciobanu Cornelia, nr. 2, p. 77 (X, 1)
Ciobanu Mircea, nr. 3—4, p. 103 (III, 1), nr. 5, p. 196 (III,3)
Ciupuliga Adela, nr. 6—7, p. 271 (III, 5)
Cocoş Emanoil, nr. 2, p. 72 (VIII, 4)
Constantinescu Jean, nr. 1, p. 4 (II, 1)
Costea Monica, nr. 5, p. 223 (X, 2)
Costin Emil, nr. 2, p. 49 (II,2), nr. 5, p. 189 (I, 1), nr. 6—7, p. 263 (XVI. III)
Creţu Aurora, nr. 8—9, p. 365 (V, 8)
Cristea Haralambie, nr. 8—9, p. 356 (IV, 7), nr. 10—12, p. 397 (IV, 9)
Cserveny Iosif, nr. 1, p. 39 (XVI. II)
Cuciureanu Magdalena, nr. 1, p. 4 (II, 1)

Damian Mircea, nr. 2, p. 87 (XI, 3)
Dănilă Nicolae, nr. 10—12, p. 462 (XI.VI)
Demian Florin, nr. 5, p. 210 (VIII, 7)
Dicu Cristina, nr. 8—9, p. 365 (V, 8)
Dordea Pătra, nr. 8—9, p. 365 (V, 8)
Drăghici Nicolae, nr. 5, p. 210 (VIII, 7)
Duma Mario, nr. 1, p. 4 (II, 1), nr. 3—4, p. 125 (V, 2)
Duşa Vasile, nr. 8—9, p. 337 (II, 8)

Eremia Mircea, nr. 3—4, p. 107 (III, 2), nr. 6—7, p. 316 (XIII, 1)

Florescu Alexandru, nr. 3—4, p. 97 (II, 3)
Felea Ioan, nr. 3—4, p. 148 (VIII, 5), nr. 5, p. 210 (VIII, 7)
Furnică Emilian, nr. 6—7, p. 296 (VIII, 9)

Gaba Aurel, nr. 3—4, p. 100 (II, 4)
Gavrilaş Nicolae, nr. 10—12, p. 425 (VIII, 11)
Gârdan Dumitru, nr. 6—7, p. 281 (V, 5)
Georgian Valentin, nr. 1, p. 23 (VI, 1)
Gibescu Călin, nr. 1, p. 4 (II, 1)
Gogu Andrei, nr. 6—7, p. 288 (V, 6)
Goia Miron, nr. 5, p. 218 (VIII, 8)
Golici Dan, nr. 10—12, p. 416 (V, 11)
Golovanov Carmen, nr. 8—9, p. 371 (VIII, 10)
Guşă Mircea, nr. 10—12, p. 425 (VIII, 11)

Haţiegan Titus Doru, nr. 6—7, p. 246 (II, 5)

Iacob Caius, nr. 8—9, p. 382 (XV, 5)
Iancovici Victor, nr. 6—7, p. 264 (III, 4)
Iordache Mihaela, nr. 8—9, p. 340 (II, 9)
Iordache Roxana, nr. 5, p. 223 (X, 2), nr. 10—12, p. 440 (X, 3)
Ionel Ioana, nr. 6—7, p. 288 (V, 6), nr. 8—9, p. 377 (XI, 6), nr. 10—12, p. 433 (X, 4)
Ionescu Sebastian, nr. 8—9, p. 361 (IV, 8)
Ionescu G. Traian, nr. 1, p. 27 (VIII, 1), nr. 8—9, p. 371 (VIII, 10)
Istrate Marcel, nr. 10—12, p. 425 (VIII, 11)
Ivas Dumitru, nr. 6—7, p. 296 (VIII, 9)
Ivaşcu Cornelia, nr. 6—7, p. 252 (II, 6)

Lazăr Dan Petru, nr. 1, p. 23 (VI, 1), nr. 3—4, p. 139 (VI,2)
Leonte Petru, nr. 6—7, p. 296 (VIII, 9)
Liciu Nicolae, nr. 6—7, p. 241 (I, 2)
Luca Gheorghe, nr. 1, p. 41 (XVI.VII)

Maghiar Teodor, nr. 5, p. 210 (VIII, 7)
Manolescu Alina, nr. 8—9, p. 365 (V, 8)
Manolescu George, nr. 1, p. 41 (XVI.VII)
Manolescu Paul, nr. 8—9, p. 371 (VIII, 10)
Matei Lucian, nr. 8—9, p. 365 (V, 8)
Matei Magdalena, nr. 8—9, p. 365 (V,8)
Măiereanu Marilena, nr. 2, p. 49 (II, 2)
Măriş Horia, nr. 2, p. 54 (IV, 2), nr. 10—12, p. 401 (IV, 9)
Mihăileanu Călin, nr. 8—9, p. 390 (XVI.III)
Milea Aurel, nr. 2, p. 77 (X, 1)
Milea Liviu, nr. 6—7, p. 252 (II, 6)
Mocanu Constantin, nr. 3—4, p. 161 (XVI.I, 1)
Moga Mihai, nr. 8—9, p. 349 (IV, 6)
Munteanu Florin, nr. 6—7, p. 296 (VIII, 9)
Muscă Gavril, nr. 2, p. 77 (X, 1)

Nicolau Gheorghe, nr. 5, p. 204 (VIII, 6)
Nicolau Ion, nr. 10—12, p. 411 (V, 10)
Niculescu Ana, nr. 10—12, p. 420 (V, 12)
Nină Nicolae, nr. 1, p. 34 (XI, 1)
Negoiţă Gheorghe, nr. 6—7, p. 332 (XVI, V)
Negreanu Gabriel, nr. 10—12, p. 416 (V, 11)
Negulescu Lucian, nr. 6—7, p. 309 (XI, 5), nr. 10—12, p. 447 (XI, 7)

Olaru Gheorghe, nr. 3—4, p. 139 (VI, 2)
Oprea Roxana, nr. 8—9, p. 371 (VIII, 10)
Oprişa Paul, nr. 10—12, p. 433 (X, 4)
Ostap Constantin, nr. 10—12, p. 455 (XV, 7)

Pantazi Constantin, nr. 5, p. 218 (VIII, 8)
Pavel Eugeniu, nr. 1, p. 27 (VIII, 1), nr. 5, p. 229 (XV, 1)
Pavelescu Cristina, nr. 3—4, p. 97 (II, 3)
Petrescu Stoian, nr. 5, p. 223 (X, 2), nr. 10—12, p. 440 (X, 5)
Pop Grigore, nr. 2, p. 77 (X, 1)
Popa Teodor, nr. 1, p. 16 (V, 1)

Popovici Doina, nr. 5, p. 196 (III, 3)
Popescu Anca, nr. 5, p. 196 (III, 3)
Popescu Ilie, nr. 2, p. 67 (VIII, 3)
Popescu Stelian, nr. 8—9, p. 346 (IV, 5)
Porneală Sava, nr. 6—7, p. 258 (II, 7)
Potolea Eugen, nr. 3—5, p. 115 (IV, 3)
Precup Mihai, nr. 8—9, p. 365 (V, 8)
Preda Laurian, nr. 6—7, p. 296 (VIII, 9)

Rădulescu Mircea, nr. 1, p. 16 (V, 1), nr. 10—12, p. 420 (V, 12)
Răşcanu Radu, nr. 6—7, p. 292 (V, 7)
Romaşcu Gabriel, nr. 6—7, p. 292 (V, 7)
Roşca Monica, nr. 1, p. 4 (II, 1)
Rugină Vasile, nr. 1, p. 4 (II, 1), nr. 2, p. 49 (II, 2),
Rusu Mihai, nr. 6—7, p. 281 (V, 5)

Sava Jeana Monica, nr. 10—12, p. 408 (V, 9)
Sârbu Constantin, nr. 6—7, p. 281 (V, 5)
Scarlat Emil, nr. 6—7, p. 316 (XIII, 1)
Sfichi Romulus, nr. 6—7, p. 276 (III, 6)
Stănucă Aurel, nr. 3—4, p. 142 (VI, 3)
Stein Manfred, nr. 3—4, p. 103 (III, 1), nr. 6—7 p. 271 (III, 5)
Stiger Ion, nr. 2, p. 8 (XI, 3)
Sufleţel Nicolae, nr. 2, p. 67 (VIII, 3)

Tarhon Constantin, nr. 3—4, p. 142 (VI, 3)
Teodorescu Cristian, nr. 2, p. 77 (X, 1)
Teodosescu Dan, nr. 1, p. 8 (IV, 1)

Ungureanu Corneliu, nr. 6—7, p. 288 (V, 6), nr. 8—9, p. 377 (XI, 6), nr. 10—12, p. 433 (X, 4)

Vâlcereanu Gheorghe, nr. 5, p. 196 (III, 3)
Velicescu Corneliu, nr. 3—4, p. 118 (IV, 4)
Voinea Eugen, nr. 6—7, p. 276 (III, 6)
Voronca Mihai, nr. 3—4, p. 135 (V, 4)

Redacţia revistei ENERGETICA cere scuze cititorilor şi colaboratorilor săi pentru marea întîrziere survenită în apariţia publicaţiei.

Colectivul de redacţie face toate demersurile necesare şi depune toate eforturile pentru revenirea la apariţia regulată, lunară, a revistei.

Începînd cu anul 1991 ENERGETICA apare într-o formă grafică mult îmbunătăţită.

Abonamentele se pot reînnoi la Editura Tehnică, filiala din str. Oteteleşanu, nr. 1, sect. 1, Bucureşti.

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ

КРИСТЕА ХАРАЛАМБИЕ: Испытание параметров и идентификация математической модели СРАВ паровой турбины К-200-130 ТЭС Иернут 397—401

ХОРИЯ МЭРИЕШ: Элекромагнетигеская совместимость в слугае сисловых экипировок 401—407

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ЖАНА МОНИКА САВА: Методология определения расхода пара вводимого в конденсационные турбины при неноминальных режимах. Величины характеризующие растяжение в турбине 408—411

ИОН НИКОЛАУ: Быстродействующий вентиль закрытия для паровой турбины средней мощности 411—416

ДАН ГОЛИЧУ, ГАБРИЕЛ НЕГРЕАНУ: Влияние ухудшения внутреннего кпд на удельный расход тепла турбины типа ДСЛ (ВПТ) 416—420

МИРГЕА РЭДУЛЕСКУ, ВАЛЕРЮ БАНУ, АНА НИКУЛЕСКУ: Улигшение установки разделения в муфте косла на 210 т/гас 420—424

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

МИРЧА ГУШЭ, КОНСТАНТИН АСАФТЕЙ,НИКОЛАЕ ГАВРИЛАШ, МАРЧЕЛ ИСТРАТЕ: Местная сигнализация коротких замыканий в воздушных сетях среднего напряжения 425—429

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕРГИИ

ИОАН КАРП: Освоение источников низкотемпературного тепла в абсорбционных установках с аммиачно-водяным раствором 430—432

КОРНЕЛИУ УНГУРЕАНУ, ИОАНА ИОНЕЛ, ПАУЛ ДАН ОПРИША: Современные технологии замедления образования окислов азота в процессах горения в топках паровых котлов 433—439

СТОЙАН ПЕТРЕСКУ, РОКСАНА ИОРДАКЕ: Термическая и размерная оптимизация приемника солнечной радиации типа цилиндрической емкости с учетом кпд капта ции и конечной разницы температур между приемником и рабочим телом 440—446

ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ЛУЧИАН НЕГУЛЕСКУ: Соображения целесообразности ступенчатого испарения на паровых котлах ТЭС 447—454

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

КОНСТАНТИН ОСТАП: 90 лет со дня пуска в эксплуатацию электрического трамвая в городе Яссы 455—456

ПАУЛ КАРТИАНУ: Организация общественной хозяйственной деятельности в прошлом в отношении будущего 456—458

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКА 424, 459—462

РЕЦЕНЗИЯ 463

ДЕ ПЕРСОНИС 464—465

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА ЭНЕРГЕТИКА НА 1990 ГОД 467—468

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОР СТАТЕИ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЩУРНАЛЕ ЭНЕРГЕТИКА НА 1990 ГОД 468—469

INHALT

LEITUNG UND AUTOMATIK DER ENERGIEVERBUNDSYSTEME

CRISTEA HARALAMBIE: Leistungsproben und Identifizierung des mathematischen SRAV-Modells der Dampfturbine K—200—130 im KW Iernut 397—401

HORIA MĂRIEŞ: Elektromagnetische Verträglichkeit bei Numerischen Ausrustrung 401—407

WÄRMEKRAFTWERKE

JANA MONICA SAVA: Methodologie zur Bestimmung der in Kondensationsturbinen eingeführten Dampfmenge bei den vom Nennbetrieb abweichenden Fahrweisen. Größen, die Entspannung in der Turbine kennzeichnen 408—411

ION NICOLAU: Schnellschlußventil für eine Dampfturbine mittlerer Leistung 411—416

DAN GOLICIU, GABRIEL NEGREANU: Einfluß der Verschlechterung des inneren Wirkungsgrades auf den spezifischen Wärmeverbrauch der Dampfturbine DSL (VPT)—50 416—420

MIRCEA RĂDULESCU, VALERIU BANU, ANA NICULESCU: Verbenerung der Abscherdeinrichtung der Trömmel eines 210 t/h Dampfkenels 420—424

ELEKTRISCHE NETZE

MIRCEA GUŞĂ, CONSTANTIN ASAFTEI, NICOLAE GAVRILAŞ, MARCEL ISTRATE: Beiträge zur lokalen Kurzschlussmeldung in den Mittelspannungs-Freileitungsnetzen 425—429

NEUE ENERGIEQUELLEN

IOAN CARP: Verwertung der Niedertemperaturwärmequellen in Sorptionsanlagen mit Wasser-Ammoniak--Lösung 430—432

CORNELIU UNGUREANU, PAUL DAN OPRIŞA, IOANA IONEL: Moderne Technologien zur Verminderung der NO_x-Bildung bei Brennprozessen in der Dampfkessel Brennkammer 433—439

STOIAN PETRESCU, ROXANA IORDACHE: Thermische und dimensionelle Optimierung des Hohlzylinder-Sonnenstrahlenempfängers unter Berücksichtigung des Abfang-Wirkungsgrades und der endlichen Temperaturdifferenz zwischen Empfänger und Arbeitsmedium 440—446

KRAFTWERKSCHEMIE

LUCIAN NEGULESCU: Betrachtungen zur Zweckmässigkeit der Stufenverdampfung bei Dampferzeugern der Heizkraftwerke 447—454

GESCHICHTE DER ELEKTRIFIZIERUNG

CONSTANTIN OSTAP: 90 Jahre seit der Inbetriebnahme der elektrischen Strassenbahn in der Stadt Jassy 455—456

PAUL CARTIANU: Organisation der öffentlichen Wirtschaftstätigkeit in der Vergangenheit mit Ausblick in die Zukunft 456—458

NEUIGKEITEN

AUS DER WELTENERGIEWIRTSCHAFT 424, 459—462

BUCHBESPRECHUNGEN 463

DE PERSONIS 464—465

ALLGEMEINES INHALTSVERZEICHNIS DER ZEITSCHRIFT ENERGETICA FUR DAS JAHR 1990 466—467

ALPHABETISCHES VERZEICHNIS DER VERFASSER DER IN DER ZEITSCHRIFT ENERGETICA BAND (1990) *HERAUSGEGEBENEN BERICHTE* 468—469

SOMMAIRE

CONDUITE ET AUTOMATION DES RESEAUX D'ENERGIE

CRISTEA HARALAMBIE : Essais de performance et d'identification du modèle mathématique SRAV à la turbine K—200—130 de la céntrale électrique Iernut 397—401

HORIA MĂRIEŞ : La compatibilité électromagnétique dans le cadre des équipements numériques 401—407

CENTRALES TERMIQUES

JANA MONICA SAVA : La méthodologie de la détermination du débit de vapeur entré dans les turbines avec condensation à régime non-nominal. Les grandeurs qui caractérisent la détente dans la turbine 408—411

ION NICOLAU : Soupape d'arrêt rapide pour une turbine à vapeur de moyenne puissance 411—416

DAN GOLICI, GABRIEL NEGREANU : L'influence de la détérioration du rendement interne sur la consumation spécifique de chaleur, de la turbine type DSL (VPT) — 50 416—420

MIRCEA RĂDULESCU, VALERIU BANU, ANA NICULESCU : Le perfectionnement du dispositif de séparation du ballon d'une chaudière de 210 t/h 420—424

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

MIRCEA GUŞĂ, CONSTANTIN ASAFTEI, NICOLAE GAVRILAŞ, MARCEL ISTRATE: Contributions concernant l'indication locale des court-circuits dans les réseaux électriques aériens a tension moyenne 425—429

NOUVELLES SOURCES

IOAN CARP : La valorification des sources de chaleur à potential thérmique reduit dans les installations d'absorption ammoniac-eau 430—432

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL, PAUL DAN OPRIŞA : Technollogies modernes pour la diminution de la formation de NO_x dans les processus de combustion des foyers des chaudières à vapeur 433—439

STOIAN PETRESCU, ROXANA IORDACHE: Optimisation thermique et dimensionnelle du capteur de rayonnement solaire type cavité cylindrique en tenant compte du rendement d'interception et aussi de la différence finite de la température entre le capteur et le fluide de service 440—446

TECHNOLOGIES CHIMIQUES

LUCIAN NEGULESCU: Considérations visant l'opportunité de la vaporisation échelonnée aux chaudières a vapeur des centrales thermiques 447—454

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

CONSTANTIN OSTAP: 90 ans depuis la mise en service du tramway électrique en Jassy 455—456

PAUL CARTIANU: L'organisation des activités économiques publiques — du passé vers l'avenir 456—458

NOUVEAUTES

DE L'ENERGETIQUE MONDIALE 424, 459—462

COMPTE — RENDU 463

DE PERSONIS 464—465

LE SOMMAIRE GENERAL DE LA REVUE ENERGETICA EN 1990 466—467

INDEX ALPHABETIQUE DES AUTEURS DES ARTICLES PUBLIES DANS LA REVUE ENERGETICA EN 1990 468—469

CONTENTS

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

CRISTEA HARALAMBIE : Operating Performance Tests and Identification of SRAV Mathematical Model at the Power Plant Iernut K—200—130 Turbine 397—401

HORIA MĂRIEŞ : Electromagnetic Compatibility in Digital Equipments 401—407

THERMAL POWER PLANTS

JANA MONICA SAVA : Steam Flow Determination in Condensing Turbines in Unrated Regime. Characteristic Quantities for the Expansion in the Turbine 408—411

ION NICOLAU : Fast Stop Valve for a Medium Power Steam-Turbine 411—416

DAN GOLICI, GABRIEL NEGREANU : Internal Efficiency Deterioration Influence over the Specific Heat Consumption at the DSL (VPT)—50 type Turbine 416—420

MIRCEA RĂDULESCU, VALERIU BANU, ANA NICULESCU : Separating Installation Improvement at a 210 t/h Boiler Drum 420—424

ELECTRIC NETWORKS

MIRCEA GUŞĂ, CONSTANTIN ASAFTEI: Contribution to the Shror Short-Circuit Local Detection in the Mean Voltage Overhead Networks 425—429

NEW ENERGY SOURCES

IOAN CARP : Low Temperature Heat Sources Revaluation in Ammonia-Water Absorption Plants 430—432

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL, PAUL DAN OPRIŞA : Modern Technologies to Reduce NO_x Formation by Combustion into the Furnaces of Boilers 433—439

STOIAN PETRESCU, ROXANA IORDACHE: Thermal and Size Optimization of the Solar Radiation Groove Receiver Taking into Account the Interception Efficiency and the Finite Temperature Difference Between the Receiver and the Working Fluid 440—446

TECHNOLOGIES CHIMIQUES EN ENERGETIQUES

LUCIAN NEGULESCU: Consideration Regarding the Suitability of Step Condensation with Heat and Power Stations Steam Boilers 447—454

THE HISTORY OF ENERGY

CONSTANTIN OSTAP: 90 Years Since the Electric Tram Commissioning in Jassy 455—456

PAUL CARTIANU: The Public Economic Activities Organization in the Past With Regard to the Future 456—458

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 424, 459—462

REVIEW 463

DE PERSONIS 464—465

GENERAL CONTENTS OF THE REVIEW ENERGETICA FOR YEAR 1990 466—467

ALPHABETICAL AUTHORS INDEX OF PAPERS PUBLISHED IN THE REVIEW ENERGETICA FOR THE YEAR 1990 468—469

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor șef: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori șefi adjuncți: **dr. ing. Radu Enache ,dr. ing. Cezar Ioneseu**

Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Reprezentantul RENEL: **ing. Radu Opincaru**

Orientări în energetică. Economia energetică: **dr. ing. Mario Duma, ing. Anton Vlădescu**

Energetica în unități economice: **ing. Alexandru Floreseu, dr. ing. Adrian Badea**

Dezvoltarea sistemului electroenergetic: **dr. ing. George Manolescu, dr. ing. Andrei Cristovici**

Conducerea și automatica sistemului energetic: **ing. Iuliu Blechtal, dr. ing. Marius Pomârleanu**

Centrale termoelectrice: **dr. ing. Costin Moțoiu, dr. ing. Dan Goliciu**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Valeriu Mistreanu, dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing Gabriel Romașcu, ing. Alexandru Mihăilă, ing. Alecu Marian**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, dr. ing. Laurențiu Goia**

Alimentare cu căldură: **dr. ing. Victor Athanasovici, ing. Nicolae Niculescu**

Surse noi de energie: **ing. Constantin Popescu, ing. Gheorghe Voicu**

Chimia în energetică: **dr. chim. Maria Maftei, chim. Mihai Chirica**

Protecția mediului: **ing. Margarios Salgian, ing. Cornel Moțiu**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Terminologia în energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți: **ing. Paul Rașcu, dr. ing. Virgil Mușatescu, ing. Anton Roșu**

Centre universitare:

Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată, prof. dr. ing. Dumitru Ivas**

Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru, prof. dr. ing. Iuliu Heinrich**

Redactor: **Ana Maria Chivu**

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review „Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review „Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review „Energetica" publishes on request from authors abroad reports of other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subcribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

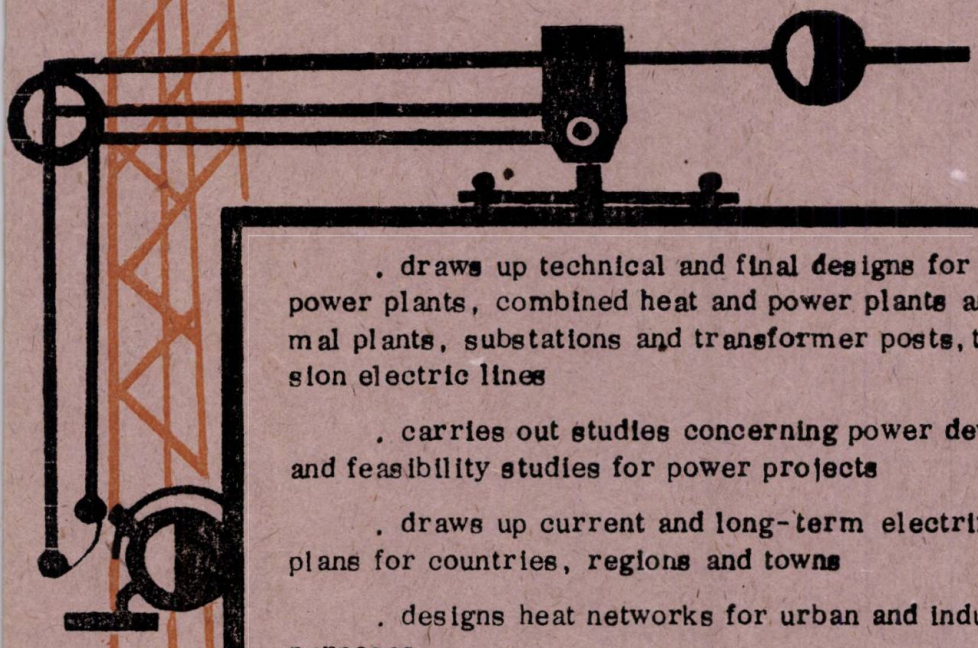
Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Universul",
București, str. Brezoianu 23—25, cd. 2423

ISPE

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr.1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power system

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :



. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

ER energoreparații

Bd. Mărășești nr. 2, sector 4, 75117 București, Telefon 232840, Telex 10635

1991 DEC 18

EXECUTA

- PIESE DE SCHIMB, SUBANSAMBLURI DE SCHIMB SI RECONDITIONARI PENTRU TURBINE CU ABUR, TURBINE HIDRAULICE, MASINI SI INSTALATII AUXILIARE.
- MACARALE, MECANISME DE RIDICAT, DISPOZITIVE PENTRU MECANIZARE SI SCULE SPECIALE PENTRU REPARAREA INSTALATIILOR ENERGETICE
- PLATFORME RIDICATOARE TELESCOPICE SAU CU BRATE, PENTRU LUCRU LA INALTIMI PINA LA 27 m
- ECHIPAMENTE PENTRU MONTAREA CONDUCTOARELOR LEA PRIN TRAGERE CU FIR PILOT
- ECHIPAMENTE PENTRU INVESTITII SAU PENTRU MODERNIZAREA INSTALATIILOR ENERGETICE
- SERVICII EXPERTIZE PENTRU VIBRATII, ECHILIBRARI DINAMICE IN FUNCTIONARE, VERIFICARI SPECTROGRAFICE RAPIDE, ANALIZE CHIMICE SI METALOGRAFICE, PROIECTARE CONSTRUCTIVA SI TEHNOLOGICA PENTRU PIESE DE SCHIMB SI RECONDITIONARI ETC.